

INNOWACYJNA ZIELONA GOSPODARKA

Część 3
Inteligentna transformacja terenów pogórnich

Praca zbiorowa pod redakcją
Jana Bondaruka

Główny Instytut Górnictwa
Katowice 2022



Komitet Kwalifikacyjno-Opiniodawczy: prof. dr hab. Adam Smoliński (przewodniczący), dr hab. inż. Małgorzata Wysocka, prof. GIG (zastępca przewodniczącego), prof. dr hab. Mirosława Bukowska, dr hab. inż. Stanisław Chałupnik, prof. GIG, prof. dr hab. inż. Natalia Howaniec, prof. GIG, prof. dr hab. inż. Grzegorz Mutke, dr hab. inż. Marek Rotkegel, prof. GIG, prof. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk

Recenzentka
dr hab. inż. Dorota Burchart, prof. PŚ

Redakcja wydawnicza
Małgorzata Kuśmirek-Zegadło

Korekta
Agnieszka Góralczyk

Skład, łamanie
Krzysztof Gralikowski

ISBN 978-83-65503-35-0 (całość)
ISBN 978-83-65503-46-6 (Cz. 3)

© Copyright by Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2022.
Tekst niniejszej publikacji jest dostępny na licencji Creative Commons – Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe.
Postanowienia licencji są dostępne pod adresem <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>

Katowice, Główny Instytut Górnictwa, 2022. Ark. wyd. 6,9





AUTORZY

Paulina Badura – Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach – Katedra Badań Strategicznych i Regionalnych; paulina.badura@edu.uekat.pl

Monika Hajnrych – Politechnika Wrocławska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii; monika.hajnrych@pwr.edu.pl

Adam Hamerla – Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód; ahamerla@gig.eu

Karolina Jąderko-Skubis – Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód; kjaderko@gig.eu

Aleksandra Kozłowska-Woszczycka – Politechnika Wrocławska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii; aleksandra.kozłowska@pwr.edu.pl

Karolina Owczarz – Politechnika Wrocławska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii; karolina.owczarz@pwr.edu.pl

Katarzyna Pactwa – Politechnika Wrocławska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii; katarzyna.pactwa@pwr.edu.pl

Justyna Woźniak – Politechnika Wrocławska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii; justyna.wozniak@pwr.edu.pl

Aleksandra Zgórska – Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód; azgorska@gig.eu





Spis treści

Słowo wstępne	5
Karolina Jąderko-Skubis Rozwiązania informatyczne wspomagające zieloną transformację regionów górniczych	9
Paulina Badura Potencjał inwestycyjny terenów przemysłowych w Subregionie Centralnym Województwa Śląskiego w obszarze budownictwa mieszkaniowego	25
Katarzyna Pactwa, Justyna Woźniak Zrównoważona ocena społeczno-środowiskowa obiektów pogórnich	40
Aleksandra Kozłowska-Woszczycka, Karolina Owczarz, Monika Hajnrych Geomonitoring jako narzędzie wspomagające zarządzanie środowiskiem na obszarach pogórnich	54
Adam Hamerla, Aleksandra Zgórska Zastosowanie technologii UAV do opracowania bazy danych o terenach przemysłowych (OPI-TPP 2.0), jako narzędzia wspierającego proces transformacji terenów pogórnich na terenie województwa śląskiego	69
Aleksandra Zgórska, Adam Hamerla Ocena możliwości wykorzystania zbiorników wodnych powstałych na terenach przemysłowych w obszarze usług ekosystemowych	85





Słowo wstępne

Regiony węglowe były dotychczas uznawane za podstawę wzrostu gospodarczego. Transformacja energetyczna w kierunku zielonej i niskoemisyjnej gospodarki, w odpowiedzi na postępujące zmiany klimatyczne, degradację środowiska oraz postęp społeczno-gospodarczy, może jednak przyczynić się do stagnacji gospodarczej i marginalizacji tych obszarów. Proces transformacji został rozpoczęty m.in. przyjęciem Porozumienia Paryskiego, Agendy 2030 oraz nowej strategii Unii Europejskiej – Europejskiego Zielonego Ładu. Transformacja uruchomiła ciąg zdarzeń, które postrzegane są jako korzystne z technologicznego i środowiskowego punktu widzenia. Jednocześnie realizacja tych działań będzie wywoływać negatywne skutki w wymiarze społecznym, przestrzennym i gospodarczym. Przeciwdziałanie tym negatywnym zjawiskom determinuje konieczność przygotowania i prowadzenia planów i działań, które będą wspierać regiony silnie energochłonne, w tym przede wszystkim węglowe, w ich transformacji. Szczególnie istotne jest zadbanie o strukturę gospodarczą i społeczną, w tym szczególnie o miejsca pracy, przy jednoczesnym zachowaniu dziedzictwa kulturowego i tożsamości danego regionu.

Transformacja, jako złożony proces, wymaga przede wszystkim dobrego przygotowania. Brak jest obecnie jednolitej metodyki przeprowadzania procesu transformacji. Można jednak określić ogólne ramy dla jego prowadzenia, w których można wyróżnić trzy główne fazy: poprzedzającą zamknięcie (ang. *pre-closure*), zamknięcia (ang. *closure*) i regionalnej transformacji (ang. *regional transition*), które determinują zakres podejmowanych działań oraz trzy obszary działań: polityka krajowa/regionalna, społeczeństwo i środowisko. Opierając się na tym podziale można przygotować odpowiednie metody i narzędzia, które zapewnią spójne i kompleksowe prowadzenie procesu i uchronią przed potencjalnymi błędami, a nawet fiaskiem całego procesu.

Ogólne podejście do procesu transformacji, jako wielopłaszczyznowej przemiany regionu, wskazuje, że powinien on być skorelowany z decyzjami o likwidacji zakładu górniczego i rozpocząć się od działań poprzedzających jego techniczne i formalne wyłączenie z działalności operacyjnej, tj. w przedziale od roku do dwóch lat przed wyznaczonym terminem. Wówczas będzie możliwe przygotowanie mapy drogowej działań likwidacyjnych i adaptacyjnych, które będą uwzględniały zarówno dobrze przygotowaną strategię transformacji, jak i pozyskanie społecznej akceptacji dla tego procesu. W wymiarze środowiskowym i przestrzennym należy rozpocząć inwentaryzację terenów i nieruchomości, które będą wymagały zagospodarowania oraz dokonać oceny szkód środowiskowych i kosztów ich likwidacji. Ustawa Prawo geologiczne i górnicze przewiduje, że właściciel, przystępując do likwidacji zakładu górniczego, powinien szczegółowo określić, które obiekty podziemne i naziemne są ściśle powiązane z prowadzoną, bądź zakończoną eksploatacją i towarzyszącymi jej negatywnymi skutkami dla otaczającego środowiska. W ten



sposób jednoznacznie należy wskazać, kto będzie ponosił odpowiedzialność, nie tylko za likwidację poszczególnych obiektów zakładu górniczego, ale również pokrywał inne roszczenia. Jednocześnie należy mieć na względzie, że proces transformacji nie obejmuje wyłącznie jednego zakładu górniczego, a jego planowanie nie powinno być wyłącznie do tego ograniczone. Istotą planowania powinna być również szeroko idąca analiza i ocena skutków społecznych, gospodarczych i środowiskowych. Faza zamknięcia wiąże się z fizyczną likwidacją zakładu górniczego i przygotowaniem krótkoterminowych rozwiązań osłonowych dla ludzi dotkniętych tym procesem tak, aby umożliwić im odnalezienie się w nowych warunkach. W warstwie środowiskowo-przestrzennej dochodzi do przekazania nieruchomości, zabezpieczenia terenów pogórnich, rozpoczęcia działań rekultywacyjnych i dostosowawczych itp. Ostatnia faza transformacji regionalnej to okres, którego efekty w przypadku województwa śląskiego będzie można analizować w horyzoncie po roku 2049, kiedy zostanie zakończona działalność wydobywcza. Skuteczność i efekty procesu transformacji będą niewątpliwie uzależnione od wielu czynników, oraz ilości i jakości działań podjętych na etapie likwidacji kolejnych zakładów górniczych. W tym czasie należy oczekiwać faktycznej przemiany regionu węglowego. Jest to najtrudniejszy okres, który wymaga uruchomienia szeregu dodatkowych, czasami nieprzewidywanych, działań i planów, których głównymi celami są ożywienie gospodarcze, włączenie społeczne oraz zrównoważone zagospodarowanie terenów i zasobów pogórnich.

Niniejsza monografia jest wynikiem II Konferencji pt. „Inteligentna Zielona Transformacja” z cyklu Innowacyjna Zielona Gospodarka, zorganizowanej w ramach Sieci Regionalnych Obserwatoriów Specjalistycznych w Procesie Przedsiębiorczego Odkrywania w województwie śląskim (SO RIS w PPO – II). W poszczególnych rozdziałach zaprezentowano wybrane aspekty procesu inteligentnego zamykania kopalń i związanych z tym procesem działań i narzędzi, które umożliwią przygotowanie się do procesu transformacji.

Jan Bondaruk i Mariusz Kruczek



Publikacja sfinansowana w ramach projektu Sieć Regionalnych Obserwatoriów Specjalistycznych w Procesie Przedsiębiorczego Odkrywania w województwie śląskim (SORIS w PPO – II) realizowanego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014–2020.



Karolina Jąderko-Skubis

Rozwiązania informatyczne wspomagające zieloną transformację regionów górniczych





Karolina Jąderko-Skubis
Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód

Rozwiązania informatyczne wspomagające zieloną transformację regionów górniczych

1. WPROWADZENIE

Trwające procesy przemian gospodarczych związane z realizacją celów zrównoważonego rozwoju, wdrażaniem gospodarki cyrkularnej czy transformacją energetyczną powodują, że pojawiają się nie tylko nowe wyzwania, a także nowe możliwości rozwoju. Dynamika zmian prawnych na arenie międzynarodowej, szczególnie dotyczących kwestii środowiskowych, potęguje presję i stwarza szereg problemów związanych z koniecznością dostosowania specyficznych warunków gospodarczych do międzynarodowych celów i norm.

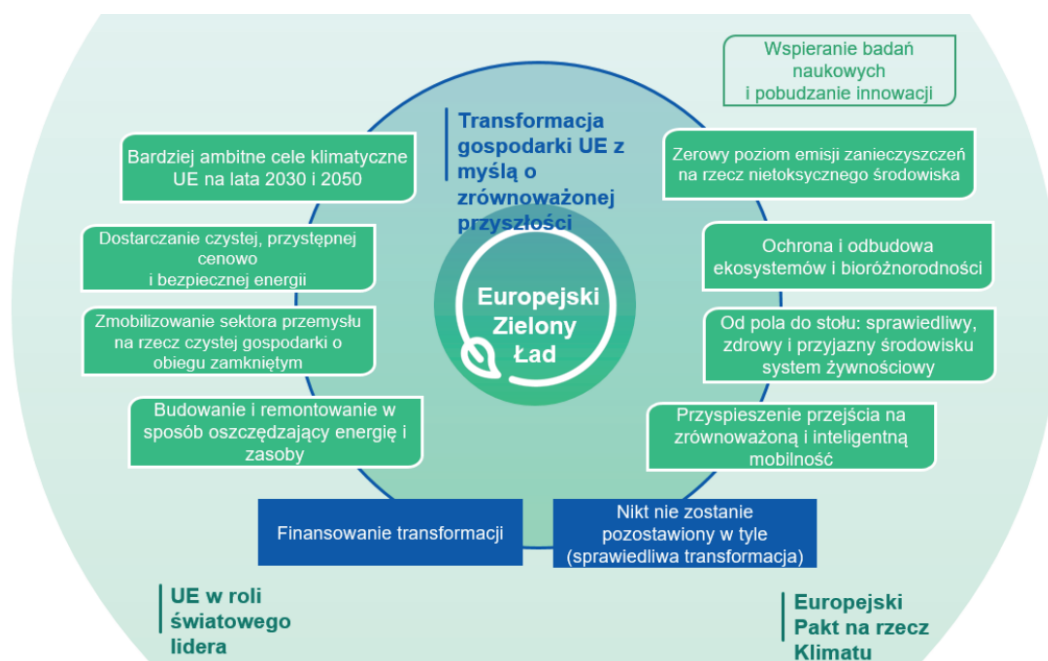
Europejska gospodarka przechodzi cykliczne zmiany w podstawowych wymiarach zrównoważonego rozwoju – społecznym, gospodarczym oraz środowiskowym. W kontekście specyfiki regionów górniczych zarówno w Polsce, jak i w Europie, kluczowe znaczenie w obecnej rewolucji przemysłowej ma transformacja energetyczna. Unia Europejska postawiła sobie za ambitny cel osiągnięcie neutralności klimatycznej, a tym samym zerowej emisji gazów cieplarnianych netto, do 2050 r. Nowe regulacje unijne, jak również polityka klimatyczna, mierzą się z tym celem, wyznaczając kierunki rozwoju zmierzającego do dekarbonizacji gospodarki oraz optymalne ścieżki realizacji procesu transformacji. I chociaż sektor energetyczny i wydobywczy stanowią główną siłę napędową prowadzonego procesu dekarbonizacji, to należy zwrócić uwagę, że te ambitne cele dotyczą całej gospodarki, stąd konieczne staje się zaangażowanie wszystkich jej sektorów (Communication, 2019).

Ostatnie badania pokazują (ARE, 2022), że chociaż transformacja energetyczna w Polsce jest procesem długotrwałym, jest też sukcesywnie postępującym. Przyjęte przez poszczególne kraje zobowiązania dotyczące sektorów gospodarki krajowej i gospodarki międzynarodowej spowodowały, że w ostatnich latach w krajowym miksie energetycznym nastąpiły znaczące zmiany. Przywołując dane archiwalne, w 2010 r. źródłem 81,8% mocy zainstalowanej (z 36,2 GW) w kraju był węgiel, a 6,1% mocy zainstalowanej pochodziło z odnawialnych źródeł energii (OZE). W ostatnich trzech latach widać jednak znaczący postęp dekarbonizacji, skutkujący spadkiem udziału mocy węglowej do 58,5% i znaczącym wzrostem udziału OZE, na poziomie 30,3% mocy zainstalowanej, dzięki wykorzystaniu w szczególności energii wiatrowej i energii pochodzącej z fotowoltaiki.



Regiony górnicze od dekad zaliczane są do obszarów priorytetowych, w których podejmowane są kompleksowe działania zmierzające do ochrony klimatu i środowiska. Górnictwo, mimo silnego (i przeważnie negatywnego) wpływu na środowisko, odgrywa ważną rolę w gospodarce. Przede wszystkim wiąże się to z faktem istnienia przedsiębiorstw okologicznych, które bezpośrednio i pośrednio współpracują z kopalniami, np. przez dostarczanie maszyn, usług konserwacji i naprawy, transportu czy przez wykorzystanie w swojej działalności węgla. Oznacza to, że siła oddziaływania transformacji energetycznej i zamykania kopalń jest znacznie większa i nie dotyczy wyłącznie sektora wydobywczego (UE, 2020).

Proces transformacji gmin górniczych, mimo że trwa od lat, to nieustająco wprowadzane są nowe regulacje i mechanizmy mające na celu wsparcie tego złożonego i długotrwałego procesu przemian (GOZ, 2019; Kancelaria Senatu, 2020; Rozporządzenie, 2020; Willner i Perino, 2022). W obecnym okresie szczególne znaczenie ma wprowadzony Europejski Zielony Ład (Komunikat, 2019) oraz pakiet *Fit for 55*. Dokumenty te stanowią wkład w europejską politykę klimatyczną i są kolejną odpowiedzią na problemy związane z klimatem i środowiskiem (Willner i Perino, 2022). Elementy Zielonego Ładu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Europejski Zielony Ład – założenia (Komunikat, 2019)

Badania nad skutkami eksploatacji górniczej (Marszowski i Iwaszenko, 2021) wyraźnie pokazują jej silny wpływ na klimat i środowisko. Wpływ ten jest widoczny zarówno podczas trwającej działalności operacyjnej przedsiębiorstw górniczych, jak i po jej zaprzestaniu. Konieczność przywrócenia terenów pokopalnianych do stanu umożliwiającego ich dalsze wykorzystanie, jest procesem długotrwałym i kosztownym. Prowadzone procesy remediacji i rewitalizacji pokazują, jak



przemysł wydobywczy się zmienia i silnie wpływa na strukturę geologiczną regionów górniczych oraz warunkuje oddziaływanie społeczno-gospodarcze, oddziaływanie środowiskowe oraz społeczną odpowiedzialność biznesu w sektorze górniczym.

Te znaczące obszary oddziaływania górnictwa, jak również obecność nowych trendów i czynników kształtujących obecną gospodarkę, zmuszają sektory, branże i przedsiębiorstwa do radykalnych i fundamentalnych zmian w kontekście prowadzonych modeli biznesowych. Silny wpływ takich megatrendów, jak dekarbonizacja i digitalizacja, skutkuje koniecznością głębokiej transformacji, często prowadzącej do utraty podstawowej działalności.

Przyszłość polskiego górnictwa determinowana jest obecnie przez proces sprawiedliwej transformacji (Rozporządzenie, 2020; Plan, 2021). Wymaga to systemowego podejścia, uwzględniającego szereg procesów, a także obszarów ich realizacji, w tym m.in. inżynierskiego, technologicznego, przyrodniczego, społecznego, ekonomicznego, politycznego czy bezpieczeństwa energetycznego. Szeroka grupa interesariuszy tego procesu, z sektora górniczego oraz okołógórniczego, stawia wiele wyzwań i barier, które warunkują model działania przyjęty przez kraj lub region (PwC, 2021).

Trwający proces transformacji powoduje potrzebę nowego, optymalnego podejścia do polityki energetycznej w kontekście systemów informatycznych, zielonego IT czy systemów automatyki przemysłowej, stanowiącej fundamenty Przemysłu 4.0¹. Mając to na względzie i kierując się potrzebą niwelowania barier analitycznych, w niniejszej pracy przeprowadzono krytyczną analizę rozwiązań dostępnych w zakresie analizowanej problematyki.

W kontekście obecnych zmian determinowanych przez trwający proces dekarbonizacji, podjęto próbę wskazania zakresu wspomagania procesu transformacji sektora górniczego, przez opracowane i wdrożone narzędzia oraz systemy informatyczne. Wskazanie możliwych szans i perspektyw wynikających z wykorzystania zaawansowanych narzędzi pozwala wyodrębnić te procesy, które w dalszym ciągu wymagają zapewnienia dedykowanych rozwiązań w świetle zrównoważonego podejścia do transformacji przemysłu wydobywczego.

Według raportu Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA, 2017) technologie cyfrowe mają sprawić, że systemy energetyczne na całym świecie staną się bardziej połączone, inteligentne, wydajne, niezawodne i zrównoważone. Znaczące postępy w zakresie zarządzania danymi, analityki i łączności, umożliwiają wprowadzenie szeregu nowych zastosowań cyfrowych, takich jak inteligentne urządzenia czy systemy wspomagania. Cyfryzacja już teraz przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa, wydajności, dostępności i zrównoważonego rozwoju systemów energetycznych, stąd jej znaczenie w procesie transformacji jest kluczowe.

¹ Przemysł 4.0 to koncepcja odnosząca się do czwartej rewolucji przemysłowej i cyfrowej transformacji przemysłu, charakteryzująca się wykorzystaniem automatyzacji, przetwarzania i wymiany danych oraz integracją inteligentnych maszyn, systemów oraz procesów produkcyjnych mających na celu zwiększanie wydajności i elastyczności wytwarzania produktów.





W związku z powyższym dla osiągnięcia głównego celu, jakim było porównanie kluczowych rozwiązań informatycznych oraz możliwości ich wykorzystania podczas realizacji procesu transformacji, przeprowadzono krytyczną analizę literatury, obejmującą w szczególności prace (literaturę fachową i naukową) skupiające się na innowacyjnych rozwiązaniach IT w branży górniczej. Analizą objęto publikacje zawierające wyniki badań dotyczących różnych aspektów działalności górniczej, pozwalające stworzyć procesowe ujęcie tematu. Formułowane wnioski i rekomendacje miały na celu wzmocnienie wartości użytecznej przez wskazanie kierunków dalszych prac nad rozwojem systemów wspomagających proces zielonej i sprawiedliwej transformacji.

2. PROBLEMATYKA DIGITALIZACJI W KONTEKŚCIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

W Polsce kierunek działań na rzecz zrównoważonego i odpowiedzialnego rozwoju gospodarczego jest oparty na Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju (SOR) (Uchwała, 2017), której nadrzędnym celem jest tworzenie warunków dla wzrostu dochodu mieszkańców naszego kraju, przy jednoczesnym wzroście spójności w wymiarze społecznym, ekonomicznym, środowiskowym i terytorialnym. Opracowany na tej podstawie krajowy model rozwoju, jest spójny z wizją Agendy 2030 (UNEP, 2015), co zapewnia zbieżność celów i obszarów priorytetowych.

W kontekście wspomnianych strategii i instrumentów zarządzania, sfera gospodarcza jest oparta na silnym przemyśle, wprowadzającym kompleksowe i innowacyjne inwestycje, szybko rozwijającym się i efektywnie korzystającym z efektów rewolucji cyfrowej i dynamicznego rozwoju technologii informatycznych. Priorytetowym obszarem w SOR jest także budowanie takiego systemu zarządzania procesami rozwojowymi, który pozwoli na sprawną koordynację najważniejszych procesów gospodarczych, przy wykorzystaniu możliwości, jakie dają technologie cyfrowe (Agenda, 2017). Stanowi to podstawowy obszar, który wpływa na osiągnięcie celów strategii, zaraz obok kapitału ludzkiego, transportu, energii, środowiska, bezpieczeństwa narodowego (rys. 2). Pokazuje to, jak istotne są rozwiązania cyfrowe, które silnie wpływają na efektywność realizowanych procesów gospodarczych i przyczyniają się do realizacji celów zrównoważonego rozwoju (Mondejar i in., 2021).

Dla sektora przemysłowego cyfryzacja otwiera szerokie możliwości rozwoju. Oczekuje się, że cyfryzacja szybciej nada zrównoważony charakter systemom energetycznym, zintegruje dostępne źródła, doprowadzi energię elektryczną do odległych obszarów oraz poprawi sposób, w jaki z niej korzystamy, zapewniając efektywność wykorzystania dostępnej infrastruktury. Rozproszone

systemy energetyczne stanowią zatem drogę do poprawy skuteczności zrównoważonych systemów energetycznych, a ich rozwój wymaga równoległego rozwoju narzędzi sterowania i modelowania (Mondejar i in., 2021).

Powołując się na najnowszy raport Centrum Czystego Węgla Międzynarodowej Agencji Energii pt. *Cyfrowa transformacja sektora węglowego* (Zhu, 2021), sektor energetyczny rozpoczął proces cyfryzacji, który zmienia sposób wytwarzania, przesyłania i dystrybucji energii elektrycznej oraz pomaga sprostać obecnym wyzwaniom. W dokumencie podkreślono, że takie rozwiązania, jak: Przemysłowy Internet Rzeczy (ang. *Industrial Internet of Things*, IIoT), zarządzanie dużymi zbiorami danych (ang. *big data*), sztuczna inteligencja (ang. *artificial intelligence*, AI), cyfrowe bliźniaki (ang. *Digital Twins*), chmura (ang. *the cloud*) i mobilność (ang. *mobility*) znajdują zastosowanie w przemyśle energetycznym, zwiększając jego wydajność, niezawodność i wspierając zrównoważony rozwój. W tym kontekście Przemysłowy Internet Rzeczy stanowi fundament cyfrowego zakładu, umożliwiając gromadzenie, przesyłanie, analizowanie i zarządzanie danymi dotyczącymi operacji i procesów. Analityka oparta na wykorzystywaniu sztucznej inteligencji i technologii cyfrowych może być również stosowana w górnictwie węglowym i być pomocna w automatyzacji i optymalizacji produkcji węgla, poprawie wydajności operacyjnej i efektywności środowiskowej, zwiększaniu bezpieczeństwa pracowników i minimalizacji kosztów produkcji.



Rys. 2. Cele SOR (Agenda, 2017)



Ze względu na zmiany społeczno-gospodarcze wynikające z realizowanej polityki energetycznej Unii Europejskiej, ze szczególnym uwzględnieniem Europejskiego Zielonego Ładu czy Planu działania w zakresie energii do roku 2050 (Communication, 2011) – niezbędne jest wykorzystanie nowych cyfrowych technologii i eko-innowacji w celu wyeliminowania lub zminimalizowania negatywnych skutków transformacji energetycznej dla regionów górniczych. Dotychczasowy model gospodarki silnie koncentruje źródła energii konwencjonalnej, gdzie zasoby węgla kamiennego, nadające się do efektywnej ekonomicznie i technicznie produkcji, maleją, a niektóre stosowane technologie są przestarzałe i oddziałują negatywnie na środowisko. Powoduje to wzrost zapotrzebowania na efektywne i zrównoważone zarządzanie zasobami (Marszowski i Iwaszenko, 2021). Rozwój cyfryzacji i inteligentnych systemów wspomagania pozwala integrować rozproszone dane i ukierunkowywać ich wykorzystywanie do realizacji różnorodnych procesów i uzyskiwania potencjalnych korzyści dla środowiska i społeczeństwa. Korzyści płynące z digitalizacji, które wpływają na zapewnienie zrównoważonych praktyk produkcyjnych, stwarzają szerokie możliwości ich implementacji (USAID, 2021).

W świetle przedstawionych powyżej doniesień wydaje się, że przemysł wydobywczy, wpisując się w zagadnienia bezpieczeństwa energetycznego i trwającej transformacji energetycznej, powinien zarządzać własnymi zasobami i przechodzić na czystsze formy energii w oparciu o wiarygodne informacje o ich oddziaływaniu na środowisko lokalne i otoczenie społeczno-gospodarcze, jak również o ich wpływie na globalne środowisko i klimat.

Możliwość korzystania z rzetelnych danych i właściwie przetwarzanych informacji, pozwala zatem nie tylko na dostosowanie systemu gospodarczego do zmieniających się warunków determinowanych przez rewolucję przemysłową, ale przede wszystkim na podniesienie efektywności prowadzonego procesu transformacji. Z tej perspektywy warto zauważyć, że zjawiska i procesy związane z cyfryzacją, powodują fundamentalne zmiany w przedsiębiorstwach i instytucjach, wpływając na obszar operacyjny, jak również na zatrudnienie czy zarządzanie. Stwarza to konieczność dostosowania modeli gospodarczych do wyzwań rynku i ma na celu budowanie i wspieranie konkurencyjności, zapewnianie bezpieczeństwa i efektywności pracy oraz minimalizowanie negatywnych skutków społecznych automatyzacji.

Światowy przemysł wydobywczy i energetyczny znajduje się pod presją transformacji – zarówno energetycznej, jak i cyfrowej (ORLEN, 2021). Dekarbonizacja i cyfryzacja to, według PKN Orlen SA, dwa silnie powiązane trendy, wpływające na przemianę modeli biznesowych i funkcjonowanie całych społeczeństw. Tworzą efekt synergii, czyli napędzają się wzajemnie, stając się kołem zamachowym gospodarki i zapewniając jej zrównoważony wzrost. W praktyce oznacza to wykorzystanie technologii cyfrowych w celu redukcji emisji gazów cieplarnianych



i osiągnięcia neutralności klimatycznej, takich jak: sztuczna inteligencja, Internet Rzeczy, łańcuch bloków (ang. *blockchain*), 5G, chmura obliczeniowa, rozszerzona rzeczywistość, automatyzacja i optymalizacja, śledzenie i analiza danych, monitorowanie śladu węglowego, przewidywanie i zapobieganie awariom.

Technologie digitalizacji znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle, w tym wydobywczym. Clausen i in. (2020) w publikacji, której głównym celem była ocena wpływu globalnych trendów digitalizacji na zrównoważony rozwój górnictwa, podjęli próbę zrozumienia obecnych trendów digitalizacyjnych w górnictwie na poziomie procesowym i przedstawili wstępne analizy wpływu wiodących trendów digitalizacyjnych na wybrane kryteria zrównoważonego rozwoju. W efekcie zidentyfikowano 15 technologii, które obecnie kształtują transformację cyfrową w przemyśle; osiem z nich uznano za wiodące w tym procesie, w tym: automatyzację, zintegrowane platformy, Przemysłowy Internet Rzeczy (IIoT), narzędzia do symulacji i wizualizacji, zaawansowaną analitykę, zdalne centra operacyjne (ROC) czy zarządzanie dużymi zbiorami danych. W pracy zauważono, że dyskusja na temat zrównoważonego rozwoju w górnictwie jest nadal w dużym stopniu oddzielona od dyskusji na temat cyfryzacji. Jednak wyniki ww. pracy wyraźnie pokazują, że w rzeczywistości cyfryzacja i zrównoważony rozwój są już ze sobą nierozzerwalnie związane. Na podstawie przeprowadzonych analiz opracowano zestawienie (tab. 1), które porządkuje technologie digitalizacji dla procesów realizowanych w górnictwie, w których znajdują największe zastosowanie.

Tabela 1. Technologie digitalizacji w działalności górniczej

Technologia	Działalność górnicza		
	procesy operacyjne	procesy zarządcze	procesy pomocnicze
Przemysłowy Internet Rzeczy (IIoT)	x		
Connected Worker	x		
Zdalne operacje	x		
Druk 3D	x		
Technologie dronowe	x		
Robotyka	x		
Automatyka	x		
Elektryfikacja	x		
Modelowanie symulacyjne/wizualizacja		x	
Chmura obliczeniowa		x	
Zaawansowana analityka		x	
Zarządzanie dużymi zbiorami danych		x	
Zintegrowane platformy		x	
eLearning			x
Cyberbezpieczeństwo			x

Oprac. na podstawie Clausen i in. (2020)

Rozwój technologii informatycznych pozwala na usprawnianie procesów przemysłowych przez szeroki zakres funkcjonalności dostosowanej do aktualnych potrzeb i obejmującej w szczególności: archiwizację danych, ich przetwarzanie, usystematyzowanie, a także skomplikowaną analitykę. Funkcjonalność ta ukierunkowana jest na wsparcie prac, nie tylko przez zwiększenie ich





efektywności czy obniżenie kosztów, ale także przez realizację nadrzędnego celu, jakim może być zmniejszenie oddziaływania na środowisko, poprawa bezpieczeństwa pracy czy zapewnienie właściwej edukacji. Oznacza to, że rozwiązania informatyczne i technologie cyfrowe stanowią ważny element nowych modeli biznesowych, stąd są one nieodłącznym elementem transformacji i rewolucji przemysłowej. Warto przy tym podkreślić, że w przemyśle sztuczna inteligencja wykorzystywana jest w modelowaniu procesów produkcji i przewidywaniu ich przebiegu. Analizowane są duże zbiory danych historycznych, które są przekształcane w użyteczne scenariusze zdarzeń – predykcje (prognozy), dzięki czemu można przewidywać, np. zużycie zasobów i energii czy usterki lub awarie, do których może dojść w trakcie produkcji (ORLEN, 2021).

Dzięki dedykowanym rozwiązaniom cyfrowym i teleinformatycznym, przedsiębiorstwa mają możliwość usprawnienia przebiegu procesów produkcyjnych, przewidywania i symulacji przyszłych zdarzeń, czy minimalizowania zużycia surowców i energii. W konsekwencji transformacja cyfrowa pozwala na realizowanie działalności zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, godząc tym samym cele środowiskowe i biznesowe.

3. ROZWÓJ TECHNOLOGII CYFROWYCH W OBSZARZE DZIAŁALNOŚCI GÓRNICZEJ I POGÓRNICZEJ – PRZEGLĄD STOSOWANYCH ROZWIĄZAŃ

Polskie górnictwo, a tym samym regiony górnicze, stoi przed ważnym wyzwaniem dostosowania się do wymagań gospodarki rynkowej wynikających z wytycznych Unii Europejskiej w zakresie dekarbonizacji. Era głębokich przemian technicznych, organizacyjnych czy społecznych sektora górniczego, a szerzej energetycznego, powoduje konieczność stosowania najnowszych technik oraz zapewnienia stałego rozwoju kompetencji i kwalifikacji pracowników. Narzędzia cyfrowe pozwalają przyspieszać proces dekarbonizacji. Traktowane jako akcelerator „zielonego wzrostu” i zeroemisyjnego przemysłu, wykorzystywane są do optymalizacji procesów przez zmniejszanie zużywania energii i surowców, monitorowanie i raportowanie emisji do środowiska, analizę oddziaływań i śladu węglowego, poprawę bezpieczeństwa, redukcję ryzyka awarii i marnotrawstwa. W tym kontekście dokonano przeglądu dotychczas realizowanych i wdrożonych rozwiązań (tab. 2), które mają na celu wspieranie działalności górniczej, a także prac związanych z przywracaniem funkcjonalności terenów górniczych po ich zamknięciu. Pozwoli to ocenić, na jakim etapie rewolucji cyfrowej znajduje się obecnie sektor wydobywczy i jaki został obrany kierunek prac B + R. Należy przy tym zauważyć, że tego typu rozwiązania są w większości inicjatywą wynikającą ze współpracy podmiotów prywatnych i przedstawicieli jednostek naukowo-badawczych.



Tabela 2. Narzędzia wspomagające proces transformacji sektora wydobywczego

Nazwa	Krótki opis	Obszar funkcjonowania – obszar wspomagania	Źródło
OPI-TPP 2.0	Projekt realizowany przez Główny Instytut Górnictwa i Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, którego celem jest wdrożenie e-usługi w postaci ogólnodostępnego systemu informacyjnego o terenach pogórnich na terenie województwa śląskiego. Projekt obejmuje stworzenie bazy danych terenów pogórnich (i przemysłowych), cyfrowe repozytorium dokumentów, zestaw czterech algorytmów wspomagających ocenę terenu.	Zarządzanie terenami pogórnymi; wspomaganie procesu oceny i monitorowania; bazy danych	(Hamerla i Bondaruk, 2020)
REmap	Narzędzie analityczne opracowane przez IRENA (ang. <i>International Renewable Energy Agency</i>), które jest oparte na ocenie scenariuszy w zakresie technologii odnawialnych źródeł energii (OZE). REmap bazuje na charakterystyce technologii konwencjonalnych (paliwa kopalne, energia jądrowa i tradycyjne wykorzystanie biomasy) i OZE. Narzędzie to obejmuje koszty kapitałowe operacyjne i konserwacyjne, a także parametry techniczne (moc referencyjna instalacji, współczynnik wykorzystania mocy brutto oraz efektywność konwersji) technologii odnawialnych źródeł energii i technologii konwencjonalnych dla każdego analizowanego sektora. Analiza obejmuje przemysł, budownictwo, transport, rolnictwo oraz sektor elektroenergetyczny i ciepłownictwa komunalnego.	Wspieranie procesów zarządczych, analityka, bazy danych	(IRENA, 2015)
System Gospodarki i Ochrony Bogactw Mineralnych (MIDAS)	Baza danych zawierająca informacje o surowcach mineralnych i eksploatacji złóż w Polsce. Modyfikowana od 1988 r. Platforma MIDAS udostępnia dane w zakresie złóż, kopalni, zasobów, jak również wydobywania. Dodatkowo zawiera informacje z zakresu gospodarki surowcowej, ze szczególnym uwzględnieniem wielkości produkcji, zużycia oraz dane o imporcie i eksporcie surowców.	Baza danych	(MIDAS, 2022)
ArchiDeMeS DMG	Twórcą systemu ArchiDeMeS DMG jest firma CadExpert. System przeznaczony jest do zarządzania informacją i dokumentacją górnictwem. W ramach funkcjonalności oferuje możliwość prowadzenia dokumentacji górniczej w postaci numerycznej oraz wykorzystywanie narzędzi do tworzenia przestrzennych modeli złoża w 3D. System integruje cechy produktów typu PDM (ang. <i>Product Data Management</i> – system zarządzania danymi i dokumentacją) i GIS (system informacji geograficznej).	Zarządzanie informacją i dokumentacją górnictwem, system informacji geograficznej, narzędzie do modelowania	(Poniewiera i in., 2013)
Platforma IIoT projektu illuMINEation	Głównym celem projektu The illuMINEation było opracowanie wielopoziomej i rozproszonej platformy IIoT, mającej na celu usprawnienie procesów decyzyjnych i wspieranie rozwoju wirtualnego środowiska górnictwa. Platforma obejmuje przede wszystkim chmurę obliczeniową i zarządzanie chmurą rozproszoną. System, przez wykorzystanie sieci bezprzewodowych, łączy się ze środowiskiem fizycznym górnictwa w celu połączenia różnych elementów łańcucha wartości i wykorzystania zaawansowanych algorytmów na potrzeby wdrażania zautomatyzowanych systemów sterowania.	Usprawnienie procesów decyzyjnych i wspieranie rozwoju wirtualnego środowiska górnictwa, wizualizacji danych i kontroli operacyjnej, zapewnienie bezpieczeństwa danych	(illuMINEation, 2022)



Nazwa	Krótki opis	Obszar funkcjonowania – obszar wspomagania	Źródło
Inteligentne kierowanie produkcją w górnictwie podziemnym (Sustainable Intelligent Mining Systems Project – SIMS)	Celem projektu było opracowanie, testowanie i wdrożenie zestawu zaawansowanych technologii dla górnictwa, służących poprawie efektywności kontroli, zarządzania oraz obsługi procesów wydobywania złóż. Systemy obejmują zarządzanie odpowiednio przygotowanym parkiem maszynowym wspierającym procesy eksploatacji, transportu i przetwarzania surowców. Zaprojektowane narzędzia mogą służyć zwiększeniu poziomu bezpieczeństwa prowadzonych prac górniczych, redukcji emisji substancji szkodliwych do atmosfery oraz zwiększeniu efektywności pracy.	Wsparcie procesów planowania i zarządzania wydobywaniem złóż (zwiększenie poziomu bezpieczeństwa prowadzonych robót górniczych, ograniczenie emisji substancji szkodliwych do atmosfery, zwiększenie efektywności pracy); wsparcie zarządzania parkiem maszynowym	(KGHM, 2022)
Robot inspekcyjny do badania infrastruktury (THING)	Przeznaczeniem platformy – robota opracowanego w ramach projektu THING (ang. <i>subTerranean Haptic INvestiGator</i>) jest implementacja zadań kontrolnych w kopalni podziemnej. Głównym zadaniem robota jest ocena stanu maszyn i infrastruktury technicznej w kopalni podziemnej. Funkcjonalność ww. rozwiązania jest oparta na algorytmach wykorzystujących nagrania wideo prowadzonego procesu diagnostycznego.	Wsparcie zadań inspekcyjnych w kopalni podziemnej (pomiar, misje inspekcyjne, eksploracyjne, a nawet poszukiwawcze czy ratownicze)	(Stachowiak i in., 2021)
Wirtualna Kopalnia – modelowe narzędzie edukacyjne o górnictwie (VirtualMine)	Projekt realizowany przez KGHM CUPRUM sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, którego celem było zwiększenie świadomości społeczności lokalnej na temat znaczenia surowców i możliwości ich efektywnego wykorzystania dla lepszego rozwoju regionów europejskich. Główny nacisk był położony na stworzenie warunków, w których będzie możliwe przekazywanie wiedzy o surowcach jak najszerszej grupie społeczeństwa, zwłaszcza dzieciom i studentom. W ramach VirtualMine został opracowany i wdrożony zestaw narzędzi i aplikacji służących przekazaniu wiedzy, w tym: hologram 3D przedstawiający górnika w pełnym wyposażeniu do pracy pod ziemią, gra multimedialna <i>Życie bez surowców</i> i <i>Wirtualna kopalnia 3D</i> Gogle HTC Vive, przenoszące do wirtualnej rzeczywistości – spacer po wyrobiskach górniczych na przestrzeni wieków.	Wsparanie popularyzacji wiedzy, technologie 3D, Gogle HTC Vive	(VirtualMine, 2022)
Zarządzanie eksploatacją maszyn w kopalni (MaMMA)	Projekt obejmował opracowanie i wdrożenie systemu – oprogramowania usprawniającego utrzymywanie ruchu w całej kopalni przez gromadzenie danych o maszynach i pozostałej infrastrukturze. Zebrane i zagregowane dane umożliwiają wizualizację stanu całej kopalni w celu zarządzania pracami serwisowymi. Wdrożenie takiego systemu miało na celu zmniejszenie liczby wypadków, zwiększenie dostępności produkcji kopalnianej oraz umożliwienie prowadzenia działalności górniczej przy zapewnieniu zrównoważonych dostaw surowców.	Wsparcie procesów monitorowania, konserwacji i oceny podziemnego ekosystemu górniczego	(MaMMA, 2022)

Mimo że ostatnia kopalnia węgla kamiennego w Polsce ma zakończyć działalność w 2049 r. to nadal widać rozwój technologii cyfrowych w obszarze działalności operacyjnej polskiego górnictwa. Problematyka realizowanych projektów obejmuje w szczególności procesy utrzymywania ruchu, prace serwisowe, monitorowanie, planowanie i zarządzanie zakładem. Chociaż celem tych



projektów jest podniesienie efektywności pracy, minimalizowanie zagrożeń czy poprawa bezpieczeństwa pracy, to nadal można wyodrębnić istotne obszary badawcze, które wymagają większego zainteresowania, np. przywracanie terenów pogórnich do obiegu gospodarczego. Obecne lata to czas radykalnych zmian zarówno w sferze gospodarczej, jak i społecznej. Oznacza to, że powstają nowe modele biznesowe, które łączą działania w zakresie zielonej transformacji z elementami rewolucji cyfrowej. Rozwój tego podejścia podwyższa szanse na to, żeby zapewnić elastyczność w czasach, kiedy liczy się czas reagowania na zmiany, zwiększenie odporności na kryzysy czy zapewnienie stabilności podjętych działań transformacyjnych.

4. PROJEKTOWANIE SYSTEMÓW WSPOMAGAJĄCYCH TRANSFORMACJĘ REGIONÓW GÓRNICZYCH – REKOMENDACJE

Przeprowadzone badania literaturowe i zaczerpnięte z nich przykłady dobrych praktyk w zakresie wdrażania narzędzi informatycznych do działalności górniczej i pogórnich, umacniają przekonanie, że wykorzystanie narzędzi cyfrowych może znacznie zwiększyć szanse na sukces transformacji. Mnogość obecnych rozwiązań powoduje, że możliwe jest dostosowanie narzędzi do wspomagania wybranych procesów. Powołując się na analizę krytyczną dokumentów źródłowych, opracowano zestawienie służące przyporządkowaniu procesów związanych z zieloną transformacją do stosowanych technologii digitalizacji (gdzie „–” oznacza brak lub niewielkie wykorzystanie technologii w danym obszarze, „x” – regularne wykorzystywanie technologii w danym obszarze, a „xx” – wykorzystywanie technologii odgrywa ważną rolę w danym obszarze).

Tabela 3. Zastosowanie technologii digitalizacji w transformacji

Technologia	Zamykanie i restrukturyzacja zakładów górniczych	Rewitalizacja/remediacja terenów pogórnich	Procesy zarządcze – mechanizmy monitorowania i oceny
Przemysłowy Internet Rzeczy (IIoT)	x	x	x
Connected Worker	xx	x	–
Zdalne operacje	x	x	x
Druk 3D	x	xx	–
Technologie dronowe	x	xx	xx
Robotyka	–	x	–
Automatyka	–	x	–
Elektryfikacja	–	–	–
Modelowanie symulacyjne/wizualizacja	xx	xx	xx
Chmura obliczeniowa	xx	xx	xx
Zawansowana analityka	xx	xx	xx
Zarządzanie dużymi zbiorami danych	xx	xx	–
Zintegrowane platformy	xx	xx	xx
eLearning	x	–	x
Cyberbezpieczeństwo	x	–	xx



W procesach zamykania i restrukturyzacji kopalń istotne znaczenie mają te technologie, które pozwalają na modelowanie, symulację czy wizualizację budowanych scenariuszy. Kluczowe znaczenie mają również technologie związane z przetwarzaniem danych, symulacją, wykorzystywaniem zintegrowanych platform dostosowanych do potrzeb związanych z procesem i zapewniających zastosowanie zaawansowanych algorytmów do prowadzonych analiz biznesowych. Wśród technologii pomocniczych znalazły się również eLearning i cyberbezpieczeństwo. Ta pierwsza technologia jest przydatna, gdy istnieje konieczność poszerzania wiedzy pracowników i członków społeczności lokalnej w zakresie zamykania kopalń oraz przywracania terenów do ponownego użytku. Cyberbezpieczeństwo natomiast służy zapewnianiu właściwej ochrony danych wrażliwych z okresu działalności zakładu górniczego.

Rewitalizacja i remediacja terenów pogórnich ukierunkowana jest na przywracanie wartości użytkowych czy przyrodniczych gruntem zdegradowanym albo zdewastowanym. Oznacza to, że na procesy rekultywacji i remediacji składają się różnego rodzaju zabiegi techniczne czy biologiczne, dostosowane do charakterystyki zanieczyszczonego terenu. Zainicjowanie procesów, które mają na celu radykalną zmianę przeznaczenia terenu, wymaga kompleksowego podejścia i wykorzystania zbioru różnorodnych danych. W tym wypadku wykorzystanie rozwiązań informatycznych umożliwia symulację i wizualizację wybranych prac oraz wskazanie najbardziej pożądanych kierunków rozwoju. W związku z powyższym szerokie zastosowanie znajdują technologie związane z symulacją i modelowaniem, zastosowaniem zaawansowanej analityki, druków 3D, chmur obliczeniowych czy dronów. Problematyka rewitalizacji terenów pogórnich i przemysłowych w dużym stopniu jest oparta na danych przestrzennych, co również wpływa na możliwości wykorzystania zintegrowanych platform informatycznych zapewniających dostęp i możliwość przetworzenia danych dotyczących analizowanych obiektów.

W ramach procesów zarządczych, ze szczególnym uwzględnieniem procesów planowania, monitorowania i oceny prac związanych z transformacją dodatkowo znalazły się takie technologie, jak cyberbezpieczeństwo. Obszar ten obejmuje w szczególności rozwój administracji cyfrowej i zapewnienie bezpieczeństwa nowoczesnych instalacji przemysłowych w celu zapobiegania atakom cybernetycznym i ochrony aktywów.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zielona transformacja, dekarbonizacja i cyfryzacja, to globalne trendy determinujące radykalne zmiany w obszarze gospodarki, w tym w najbardziej tradycyjnym przemyśle, jakim jest górnictwo węgla kamiennego. Zmiany wymaga nie tylko samo podejście, ale przede wszystkim obecne modele biznesowe. Co istotne, procesy automatyzacji i cyfryzacji są nieuniknione i konieczne nie tylko dla



zwiększania efektywności działalności operacyjnej zakładów górniczych, ale także podczas ich likwidacji. Zachodzące zmiany koncentrują się na wybranych aspektach społecznych i gospodarczych oraz na wzmacnianiu zrównoważonego rozwoju, regiony górnicze stają więc przed największymi wyzwaniami, jakie stawia im transformacja w kierunku gospodarki niskoemisyjnej. Opracowanie regionalnych planów transformacji ma na celu ograniczenie negatywnego oddziaływania tych zmian na lokalną społeczność i na gospodarkę. Mimo że cyfryzacja traktowana jest jako siła napędowa gospodarki, to często powoduje, że przedsiębiorcy są zmuszani do wyboru między restrukturyzacją i dostosowaniem modelu biznesowego a potencjalną utratą podstaw działalności. Cyfryzacja traktowana jest również jako katalizator zielonej transformacji. Wykorzystanie nowoczesnych technologii informatycznych jako narzędzia ograniczającego negatywny wpływ człowieka na środowisko stanowi wsparcie dla realizacji ambitnych celów zielonej transformacji. Oznacza to, że są to elementy wzajemnie się uzupełniające, jak również prowadzące do zapewnienia sprawiedliwej i efektywnej transformacji regionów górniczych.

Przedstawione rozwiązania informatyczne (ze szczególnym uwzględnieniem technologii cyfrowych) wpisują się w ideę łączenia transformacji cyfrowej z celami zielonej transformacji. Wybrane przykłady pokazują, jak szeroko technologie informatyczne wykorzystywane są w działalności operacyjnej zakładów górniczych, jak również w realizacji procesów rewitalizacji. Potwierdza to podstawowe założenie związane z koniecznością wykorzystania cyfryzacji i automatyzacji do prowadzenia zasobo- i energooszczędnej gospodarki regionów górniczych. Wśród korzyści związanych z rozwojem technologii informatycznych w tym obszarze, można wymienić: monitorowanie stopnia zużycia surowców i energii, unikanie awarii i ewentualnych zanieczyszczeń środowiska, śledzenie i raportowanie śladu węglowego, optymalizację procesów i ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, wsparcie procesów decyzyjnych oraz ograniczenie negatywnego wpływu zakładu na środowisko zarówno w trakcie działalności, jak i po jej zakończeniu.

Należy zwrócić uwagę, że główny determinant prowadzonych działań transformacyjnych to konieczność likwidacji sektora wydobywczego węgla kamiennego. Kompleksowe i wieloaspektowe podejście do rewitalizacji obszarów zdegradowanych, obejmujące aspekty społeczne, gospodarcze, środowiskowe, techniczne i przestrzenne, wymaga wykorzystania równie złożonych narzędzi wspomagających ten proces. Oznacza to, że nadal istnieje realny potencjał wykorzystania rozwiązań informatycznych w obszarze zielonej transformacji.

Szczególną uwagę powinno się zwrócić na kwestie związane z zamykaniem zakładów górniczych, a także na różnorakie efekty tej likwidacji. Dedykowane rozwiązania pozwolą na wsparcie



dlugotrwałego i skomplikowanego procesu transformacji, przyczynią się do ograniczenia negatywnych skutków likwidacji sektora górniczego, a także sprostają największym wyzwaniom związanym z transformacją.

LITERATURA

Agenda (2017): Agenda 2030 na rzecz zrównoważonego rozwoju – implementacja w Polsce. Warszawa, Ministerstwo Rozwoju, Departament Strategii Rozwoju. http://www.un.org.pl/files/170/Agenda2030PL_pl-5.pdf (dostęp: 10.04.2022).

ARE (2022): W 2021 udział mocy węglowych w krajowym miksie spadł do 58,5%. Agencja Rynku Energii. <https://www.arenawaw.pl/o-are/aktualnosci/w-2021-udzial-mocy-weglowych-w-krajowym-miksie-spadl-do-58-5> (dostęp: 15.03.2022).

Clausen E., Sörensen A., Uth F., Mitra R., Lehnen F., Schwarze B. (2020): Assessment of the Effects of Global Digitalization Trends on Sustainability in Mining. Part I: Digitalization Processes in the Mining Industry in the Context of Sustainability. Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

Communication (2011): Communication from The Commission to The European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and The Committee of the Regions. Energy Roadmap 2050. COM (2011) 885 Final.

Communication (2019): Communication from the Commission to the European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic And Social Committee and The Committee of The Regions. The European Green Deal. COM(2019) 640 final.

GOZ (2019): Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym. Projekt. Gospodarka o Obiegu Zamkniętym. Warszawa, Rada Ministrów.

Hamerla A., Bondaruk J. (2020): Rozbudowa systemu zarządzania terenami pogórnictwami na terenie województwa śląskiego – e-usługa publiczna OPI-TPP 2.0. Przegląd Górniczy, T. 76(7), 34-37.

IEA (2017): Digitalization and Energy: Raport. Paris, International Energy Agency.

illuMINEation (2022): illuMINEation: The Future of Mining <https://www.illumineation-h2020.eu/> (dostęp: 20.04.2022).

IRENA (2015): REMAP 2030. Perspektywy rozwoju energii odnawialnej w Polsce. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_REmap_Poland_paper_2015_PL.PDF?la=en&hash=37E52205C649C5FF87FB1DAC3127ABF5B5FA35E5 (dostęp: 12.04.2022).

Kancelaria Senatu (2020): Polska w Zielonym Ładzie – korzyści, możliwości i ocena SWOT. Opinie i ekspertyzy. Warszawa, Kancelaria Senatu. Biuro Analiz, Dokumentacji i Korespondencji.

KGHM (2022): KGHM CUPRUM. Projekty badawcze. Projekty międzynarodowe. <https://kgmcuprum.com/projekty-badawcze/projekty-miedzynarodowe/> (dostęp: 20.04.2022).

Komunikat (2019): Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. COM(2019) 640 final.

MaMMa (2022): MaMMa. <https://mamma-project.eu/about/executive-summary/> (dostęp: 20.04.2022).

Marszowski R., Iwaszenko S. (2021): Mining in Poland in Light of Energy Transition: Case Study of Changes Based on the Knowledge Economy. Sustainability, Vol. 13(24), 13649.

MIDAS (2022): System Gospodarki i Ochrony Bogactw Mineralnych Polski MIDAS. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy. <http://metadane.pgi.gov.pl/semantic-metadata/SystemGospodarkiIOchronyBogactwMineralnychPolski/dataset/29bb3786-3e34-11e4-9d9f-164230d1df67.html> (dostęp: 15.04.2022).

Mondejar M. E., Avtar R., Diaz H. L. B., Dubey R. K., Esteban J., Gómez-Morales A., Hallam B., Mbungu N. T., Okolo C. C., Prasad K. A., She Q., Garcia-Segura S. (2021): Digitalization to Achieve Sustainable Development Goals: Steps Towards a Smart Green Planet. Science of The Total Environment, Vol. 794, 148539.

ORLEN (2021): Nie ma dekarbonizacji bez digitalizacji. Zrównoważony rozwój potrzebuje technologii cyfrowych. Warszawa, PKN ORLEN SA. https://www.orlen.pl/content/dam/internet/orlen/pl/pl/o-firmie/zrownowazony-rozwoj/digitalizacja/obrazy/14_FFBK.pdf (dostęp: 12.04.2022).



Plan (2021): Regionalny plan sprawiedliwej transformacji województwa śląskiego 2030 – wstępny projekt. Załącznik do Uchwały nr 800/223/VI/2021 Zarządu Województwa Śląskiego z dnia 31.03.2021 r. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.

Poniewiera M., Nowicki J., Anders K., Wąsacz W. (2013): Praktyczna realizacja modelu międzywydziałowej wymiany informacji w oparciu o numeryczną mapę górnictwa przy zastosowaniu Normatywnego Systemu do Zarządzania Informacją i Dokumentacją Górnictwa ArchiDeMeS DMG. W: Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2013, 18–22.02.2013 r., Kraków (s. 1464-1476). Kraków, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Katedra Górnictwa Podziemnego Akademii Górniczo-Hutniczej.

PwC (2021): Wsparcie w przygotowaniu Terytorialnego Planu Sprawiedliwej Transformacji w Polsce. Raport 2b – Raport dotyczący zaangażowania interesariuszy. Warszawa, PwC.

Rozporządzenie (2020): Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiające Fundusz na rzecz Sprawiedliwej Transformacji. COM (2020/22).

Stachowiak M., Koperska W., Stefaniak P., Skoczylas A., Anufriev S. (2021): Procedures of Detecting Damage to a Conveyor Belt with Use of an Inspection Legged Robot for Deep Mine Infrastructure. Minerals, Vol. 11, 1040.

Uchwała (2017): Uchwała nr 8 Rady Ministrów z dnia 14 lutego 2017 r. w sprawie przyjęcia Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.). MP 2017 r. poz. 260.

UE (2020): Sytuacja przedsiębiorstw ekologicznych w Polsce. Opracowanie wykonane na zlecenie Górniczej Izby Przemysłowo-Handlowej w Katowicach. Katowice, Uniwersytet Ekonomiczny.

UNEP (2015): Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development> (dostęp: 10.04.2022).

USAID (2021): Mining and the Green Energy Transition: Review of International Development Challenges and Opportunities. United States Agency for International Development. https://www.land-links.org/wp-content/uploads/2021/11/Green-Energy-Minerals-Report_FINAL.pdf (dostęp: 12.04.2022).

VirtualMine (2022): VirtualMine as a Modeling Tool for Wider Society Learning. <https://virtualmine.net> (dostęp: 20.04.2022).

Willner M., Perino G. (2020): Beyond Control: Policy Incoherence of the EU Emissions Trading System. Politics and Governance, Vol. 10(1), 256-264.

Zhu Q. (2021): Digital Transformation of the Coal Sector. VGB PowerTech, No 7, 57-59.

Paulina Badura

Potencjał inwestycyjny terenów poprzemysłowych
w Subregionie Centralnym Województwa Śląskiego
w obszarze budownictwa mieszkaniowego





Paulina Badura

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach – Katedra Badań Strategicznych i Regionalnych

Potencjał inwestycyjny terenów poprzemysłowych w Subregionie Centralnym Województwa Śląskiego w obszarze budownictwa mieszkaniowego

1. WPROWADZENIE

W 1989 r. Polska stała się uczestnikiem procesu przemian, który w znacznym stopniu zdefiniował na nowo dalszy rozwój społeczno-gospodarczy kraju. Jeszcze przed okresem transformacji to przemysł był głównym motorem napędowym gospodarki. Schyłek lat 90. XX w. przyniósł zmianę w postaci coraz częstszego udziału podmiotów o nieprzemysłowym charakterze działalności, zwłaszcza usług, w gospodarce. W tym samym czasie miała również miejsce intensywna urbanizacja, która także nie pozostała bez wpływu na sferę ekologiczną, społeczno-ekonomiczną, kulturową, demograficzną i przestrzenną państwa (Szymańska i Biegańska, 2011). Zmiany ustrojowe miały silny wpływ na tereny przemysłowe, które dotąd praktycznie w całości znajdowały się w rękach publicznych. Kiedy kolejne spółki państwowe ogłaszały upadłość lub były prywatyzowane, społeczeństwo dotknął problem bezrobocia, a miasta – problem pustych, nikomu niepotrzebnych przestrzeni (Sikorski, 2013) – przestrzeni specyficznych, zagospodarowanych w celach przemysłowych, ze specjalistyczną infrastrukturą techniczną, ale często z niejasnym statusem własności. W tym stanie często znajdują się one do dziś. Obecnie jednak przestrzeń staje się dobrem deficytowym, wskutek czego miasta stają się areną, na której toczy się gra o przestrzeń. Coraz częściej okazuje się, że tereny nie brane wcześniej pod uwagę, mogą okazać się cennym zasobem, który pod wieloma względami będzie idealnie spełniał stawiane przez inwestora kryteria.

W rozdziale przedstawiono ocenę potencjału terenów poprzemysłowych w kontekście inwestycji w budownictwo mieszkaniowe. Analizą objęto tereny postindustrialne w Subregionie Centralnym Województwa Śląskiego, ponieważ występuje tam największe zagęszczenie takich obszarów. Potencjał rozpatrywano, biorąc pod uwagę zarówno stymulanty inwestycji mieszkaniowych, jak i istniejące bariery na terenach poprzemysłowych. Podjęto próbę zidentyfikowania czynników decydujących o potencjale inwestycyjnym terenu, zwłaszcza w kontekście terenów kwalifikowanych pod zabudowę mieszkaniową. Zostały opisane procesy niezbędne do przeprowadzenia inwestycji mieszkaniowych na tego typu terenach. Jako przykłady ww. działań zostały





przedstawione case study inwestycji, które już powstały: osiedla Dębowe Tarasy w Katowicach i zespołu loftów mieszkalnych w budynku spichlerza w Gliwicach, a także koncepcja osiedla Nowy Welnowiec w Katowicach.

2. TERENY POPRZEMYSŁOWE

Tematyka terenów poprzemysłowych jest dość często poruszana w polskiej literaturze naukowej. W materiał badawczy do tych publikacji, a co za tym idzie, w ilość publikacji dotyczących tej problematyki, obfitują regiony będące niegdyś kolebką polskiego przemysłu, a więc w znacznym stopniu – Górny Śląsk, i nieco mniej, region łódzki. Dokonując przeglądu literatury, można najczęściej spotkać prace Gasidło czy Tkocza z ośrodka górnośląskiego, a także Liszewskiego, Szafrąńskiej, Kotlickiej czy Piechy z ośrodka łódzkiego. Tematyką terenów postindustrialnych w przestrzeni miejskiej zajmowali się również m.in. Domański, Zagórska czy Sikorski.

W literaturze można znaleźć liczne definicje terenów poprzemysłowych i określenia będące dla nich synonimami. Wśród najczęściej spotykanych nazw, stosowanych zamiennie z pojęciem terenów poprzemysłowych, są:

- antyprzestrzeń (Baum, Bell i Greene, 2004),
- przestrzeń stracona (Tenerowicz-Jedwabny, 1997),
- przestrzeń niczyja (Wąsik, 2008),
- krajobraz zdewastowany (Mitkowska i Siewniak, 1998),
- krajobraz zaniechany (Wielgus i Myczkowski, 2007),
- krajobraz kulturowo zdegradowany (Szumański, 2005).

Niemal wszystkie określenia zawierają negatywną ocenę, która wskazuje niszczący zarówno wpływ prowadzonej niegdyś działalności przemysłowej na tę przestrzeń, jak i wpływ obecnego stanu tej przestrzeni na otoczenie. Inną definicję, skupioną głównie na funkcjach, jakie obszary te spełniają, podaje Domański (2000, s. 10), zwracając uwagę, że: (...) zaprzestano produkcji przemysłowej lub przestały pełnić funkcje pomocnicze dla tej produkcji w obrębie zakładów przemysłowych. Jest to wyraźne nawiązanie do terenów, które już nie znajdują się w użytkowaniu bądź są użytkowane w sposób inny niż w celach produkcyjnych. Do terenów poprzemysłowych Domański (2000) zalicza także, w szerszym ujęciu, przestrzeń niewykorzystywaną bezpośrednio do produkcji, ale nadal w wyniku tej produkcji zdegradowaną. Są to zazwyczaj: zdegradowane bądź skażone grunty wraz z wodami gruntowymi, zanieczyszczone lub skażone cieki wodne, składowiska odpadów o nieznanym statusie radiologicznym lub toksykologicznym, wyrobiska, zapadliska itp.



Istnieje wiele kategorii przekształcenia terenów poprzemysłowych. W zależności od rozważanego kryterium, obszary te mogą być klasyfikowane, np. pod względem typu terenu lub stopnia zagrożenia dla środowiska naturalnego. Pod względem typu terenu można wyróżnić następujące kategorie (Gasidło, 1998):

- I kategoria – tereny bezpośrednio związane z produkcją, na których odbywała się działalność przemysłowa (wyrobiska, haldy, budowle przemysłowe itp.),
- II kategoria – typ nieruchomości komplementarny wobec działalności produkcyjnej (infrastruktura techniczna, socjalna, osiedla zakładowe dla pracowników itp.),
- III kategoria – obszary niebędące bezpośrednio terenami poprzemysłowym, ale znajdujące się w strefie wpływu przemysłu (tereny wokół fabryk, zanieczyszczone ciekł wodne itp.).

Stopień zagrożenia dla środowiska to kryterium, które może stać się wiążące dla inwestora rozważającego podjęcie inwestycji na terenie poprzemysłowym. Podziału terenów ze względu na ich wpływ na środowisko dokonał samorząd terytorialny województwa śląskiego na podstawie oceny punktowej waloryzacji terenu (Henzel i in., 2009):

- wysokie ryzyko dla środowiska (A) – konieczne są prace rekultywacyjne, aby zapobiec dalszemu ryzyku, jednak koszty rekultywacji zwykle są wysokie,
- średnie (B) lub umiarkowane (C) ryzyko dla środowiska – wymagana jest drobna ingerencja w teren,
- brak zagrożenia dla środowiska (D) – prace rekultywacyjne są zbędne, istnieje możliwość dowolnego zagospodarowania (np. parki przemysłowe, parki technologiczne, tereny pod rekreację, czy działalność gospodarczą).

Formy przekształcania terenów poprzemysłowych dotyczą w większości obszarów zlokalizowanych w miastach, co jest równoznaczne z ich istotną rolą w procesie reurbanizacji (Domański, 2000). Głównym celem tego procesu jest minimalizacja lub eliminacja zagrożenia, jakie mogą stanowić tereny poprzemysłowe dla otoczenia oraz renaturalizacja (Gasidło, 1998). Obszary te, włączone na nowo do struktury miasta, stymulują jego rozwój społeczno-gospodarczy przez np. tworzenie nowych miejsc pracy, wzrost dochodów przedsiębiorstw, poprawę jakości życia mieszkańców i poprawę stanu środowiska tego obszaru i obszarów sąsiadujących (Lorek i Przybyłka, 2008). Mimo wielu korzyści, tereny poprzemysłowe przez długi czas nosiły piętno zdegradowanej i praktycznie nic niewartej przestrzeni. W ostatnich latach, w obliczu nieustannie kurczących się zasobów przestrzeni, zwłaszcza w miastach, obszary te są coraz częściej postrzegane jako potencjalne tereny inwestycyjne. Widoczny jest znaczny wzrost konkurencyjności tych terenów w kontekście potencjału przestrzennego (Marciniak, 2009). Doceniana jest przede wszystkim dogodna





lokalizacja, zwykle w centrum miasta bądź blisko głównych dróg dojazdowych, ale też bogate zaplecze techniczne (dobre drogi dojazdowe, doprowadzone media, budynki) (Pancewicz, 2012). Przemiany terenów poprzemysłowych wykazują znaczną dynamikę w ostatnich 20 latach. Ustalono jasne zasady i wskazano konieczność opracowania planu, według którego przekształcenia te powinny być przeprowadzane. W procesie tych przeobrażeń głównymi „aktorami” są samorządy terytorialne, ale w pracach biorą stosunkowo często udział również deweloperzy czy podmioty prywatne. Przekształcenia terenów poprzemysłowych mogą być dokonywane w ramach tej samej funkcji (hale przemysłowe, magazyny, składy itp.) lub w ramach zmiany funkcji (Klimek, 2013). W zależności od tego można dokonywać zmian na drodze rekultywacji, sukcesji naturalnej bądź rewitalizacji.

Rekultywacja jest jednym z etapów rewitalizacji. Polega na przeprowadzaniu działań, które przywrócą właściwe ukształtowanie terenu oraz ogólnych prac związanych z uporządkowaniem terenu, eliminacją zanieczyszczeń itp. Prace rekultywacyjne prowadzone są zazwyczaj na obszarach zdegradowanych przyrodniczo, które przed rewitalizacją wymagają istotnych działań naprawczych. Najczęstszymi kierunkami rekultywacji są: leśny lub rolny, rzadziej łąkowy, rekreacyjny, kulturowy itd. (Ostręga i Uberman, 2010).

Sukcesja naturalna z kolei zyskuje w ostatnich latach na popularności, najprawdopodobniej z uwagi na prostotę rozwiązania i oszczędność kosztów. Istotą sukcesji naturalnej jest bowiem pozostawienie terenu bez podejmowania jakiegokolwiek ingerencji – tak, aby obszar ten został naturalnie włączony przez ekosystem do swojej tkanki. Jak wspomniała Badura (2021, s. 173) jest to proces dostosowywania się flory i fauny do zmienionego środowiska, na drodze dążenia do biocenozy. To dążenie do biocenozy, czyli szeroko pojętej równowagi, jest możliwe tylko i wyłącznie, jeśli teren nie jest skażony czy zanieczyszczony w stopniu zagrażającym środowisku naturalnemu. W przypadku takiego zagrożenia – obszar musi zostać w pierwszej kolejności poddany rekultywacji (Badura, 2021).

Jeśli teren na drodze przekształceń otrzymuje nową funkcję, wówczas proces ten nosi nazwę rewitalizacji. Jedną z najbardziej znanych definicji rewitalizacji jest ta znajdująca się w Ustawie z dnia 9 października 2015 r. o rewitalizacji: Rewitalizacja stanowi proces wyprowadzania ze stanu kryzysowego obszarów zdegradowanych, prowadzony w sposób kompleksowy, poprzez zintegrowane działania na rzecz lokalnej społeczności, przestrzeni i gospodarki, skoncentrowane terytorialnie, prowadzone przez interesariuszy rewitalizacji na podstawie gminnego programu rewitalizacji (Ustawa, 2015, art. 2.1). Rewitalizacja jest regeneracją społeczno-ekonomiczną, ale też ekologiczną obszaru, przez ożywianie jego funkcji gospodarczych, kulturalnych, edukacyjnych i reprezentacyjnych. Obecnie staje się ona sztandarowym elementem komercyjnej działalności miasta



(Lorek i Przybyłka, 2008). Byłoby zatem sporą stratą dla miasta, w sensie komercyjnym, gdyby tereny poprzemysłowe pozostawały niezagospodarowane. Mnogość korzyści, jakie płyną z ich dogodnej lokalizacji, zaplecza technicznego i nierzadko ogromnych przestrzeni, jakimi dysponują, czyni je świetnymi „kandydatami” do nowych inwestycji, które pobudzą rozwój gospodarczy miasta oraz poprawią jego wizerunek.

3. WOJEWÓDZTWO ŚLĄSKIE I SUBREGION CENTRALNY

Województwo śląskie wyróżnia się intensywnym zagęszczeniem wysoko zdegradowanych terenów poprzemysłowych (Lorek i Przybyłka, 2008). Przez długi czas (aż do okresu transformacji) Śląsk był zdominowany przez przemysł – przede wszystkim górniczy i hutniczy. Województwo śląskie jest jednocześnie regionem o najsilniejszym stopniu zurbanizowania i największej koncentracji ludności na łącznej powierzchni 12,3 tys. km² (BDL, 2022).

Tereny poprzemysłowe w województwie śląskim zajmują powierzchnię około 12 tys. ha (BDL, 2022). Szczególne zagęszczenie obszarów poprzemysłowych można odnotować w obrębie subregionu centralnego. Jest to obszar obejmujący Aglomerację Górnośląską, w samym centrum województwa śląskiego. Zajmując powierzchnię 5,57 tys. km² obejmuje łącznie 59 gmin, w tym 14 miast na prawach powiatu (Subregion, 2022). To w nim zlokalizowane są największe miasta Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, a co za tym idzie – dawniej największe i najważniejsze ośrodki przemysłu.

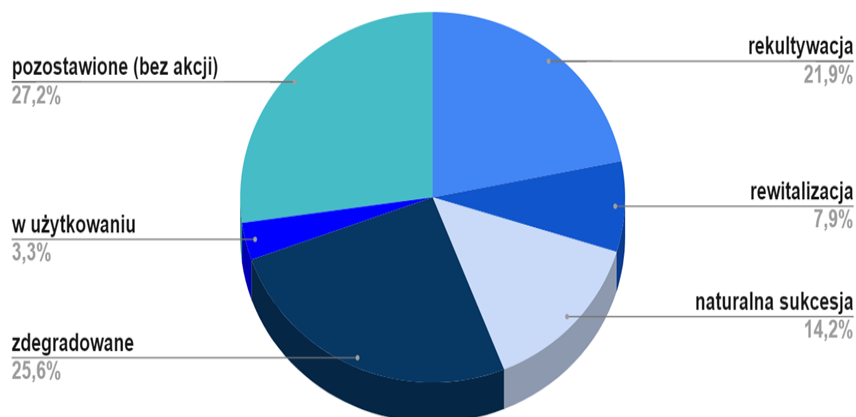
Tereny poprzemysłowe na obszarze województwa śląskiego, szczególnie w subregionie centralnym, są ściśle związane ze specyfiką gospodarczą regionu. Wiodącym typem terenów są tereny pogórnice, pohutnicze oraz związane z innymi obiektami przemysłowymi (żwirownie, cementownie itp.). Ich status pod względem degradacji czy zanieczyszczenia jest często nieznany, co może rodzić spore trudności w podejmowaniu prób ich zagospodarowania (Lamparska-Wieland i Waga, 2003). Na terenie województwa śląskiego można też spotkać się z wysokim zagęszczeniem sztucznych zbiorników wodnych, stworzonych do celów retencyjnych bądź utworzonych w nieczynnych wyrobiskach. Tereny te często są przekształcane w kierunku rekreacyjnym (Szajnowska-Wysocka i Sobala, 2013).

4. TERENY POPRZEMYSŁOWE A BUDOWNICTWO MIESZKANIOWE – CASE STUDY

Szczegółową ewidencję terenów poprzemysłowych w województwie śląskim ułatwia baza OPI-TPP. Jest to narzędzie umożliwiające zarządzanie i kontrolę poprzemysłowych zasobów przestrzennych w regionie. Narzędzie zostało stworzone przez Urząd Marszałkowski Wojewódz-



twa Śląskiego. Wśród 680 terenów zgromadzonych w bazie OPI-TPP, ponad 60% (430) znajduje się w obrębie subregionu centralnego. Ponad połowa z nich to tereny pokopalniane, w tym hałdy. Spory odsetek (ok. 25%) to hale magazynowe, osiedla zakładowe oraz obiekty pohutnicze.



Rys. 1. Kierunki przekształcania terenów przemysłowych w subregionie centralnym (Badura, 2021)

Analiza kierunków przekształcania badanych terenów (rys. 1) jasno wykazuje, że obszary poddane rekultywacji i rewitalizacji to zaledwie 30% z nich. Terenów poddanych samej rewitalizacji (a więc z nadaniem nowej funkcji) jest prawie 8%. W przeważającej części tereny przemysłowe w subregionie centralnym pozostają zdegradowane, pozostawione naturalnej sukcesji bądź bez jakiegokolwiek interwencji. Jedynie mały odsetek jest wciąż w użytkowaniu (Badura, 2021).

W niniejszym rozdziale rozpatrywano potencjał inwestycyjny terenów przemysłowych z uwagi na planowaną ich zabudowę budynkami mieszkalnymi. Zidentyfikowano szanse i zagrożenia dotyczące przekształcenia terenów przemysłowych w kierunku mieszkaniowym. Oparto się na wcześniejszych badaniach i case study inwestycji już powstałych: osiedla Dębowe Tarasy w Katowicach i zespołu loftów mieszkalnych w budynku spichlerza w Gliwicach oraz na koncepcji osiedla Nowy Welnowiec w Katowicach.

4.1. Osiedle Dębowe Tarasy w Katowicach

Historia kopalni Gottwald (wcześniej Eminencja) wraz z przynależnym do niej szybem Jerzy, rozpoczęła się w 1904 r. (choć budowa trwała do 1907 r.). Na przestrzeni lat kopalnia połączyła się z kopalnią Waterloo i zmieniała kilkakrotnie właścicieli (byli to m.in. szpital św. Ducha w Bytomiu, parafia katolicka w Chorzowie). Po II wojnie światowej kopalnia została oddana w ręce Katowickiego Związku Przemysłu Węglowego i wówczas zmieniła nazwę z Eminencja na Gottwald. Po połączeniu się z kopalnią Kleofas, w 1990 r. nazwa kopalni została na prośbę załogi zmieniona na Kleofas (Rzewiczok, 1999). Eksploatacja węgla kamiennego w kopalni została zakończona w 2004 r.



Fot. 1. Osiedle Dębowe Tarasy (TriGranit, 2022)

Prawie 30 ha terenu po kopalni, w ramach „Programu Rewitalizacji Miasta Katowice” z 2004 r. zostało przeznaczone pod budowę kompleksu składającego się z obiektów handlowych, rekreacyjnych, rozrywkowych (Silesia City Center), osiedla mieszkaniowego oraz obiektów biurowo-usługowych (Silesia Office Center) (Szajnowska-Wysocka i Sobala, 2013). W efekcie teren ten stał się jednym z największych zrestrukturyzowanych i zrewitalizowanych obszarów w Europie. Sam proces rekultywacji terenu pod budowę Silesia City Center trwał pół roku – od 2004 r. do 2005 r. (Paszkievicz, 2006). Finalnie, w 2005 r., otwarto jeden z największych w Polsce kompleksów handlowo-usługowo-rozrywkowych Silesia City Center. W skład tego kompleksu wchodzi również 100 000 m² powierzchni mieszkalnej w postaci osiedla Dębowe Tarasy (fot. 1). Inwestorem było węgierskie przedsiębiorstwo TriGranit Development Corporation, jeden z wiodących deweloperów w Europie Środkowo-Wschodniej.

Kaskadowa nowoczesna konstrukcja budynków pozwoliła na zaprojektowanie obszernych tarasów i balkonów, co w zamierzeniu inwestora miało sprawiać wrażenie przestronnej i niezbyt gęstej zabudowy, stwarzającej efekt niedużego zagęszczenia. Osiedle łączy w sobie cztery wyższe 11-piętrowe budynki i osiem niższych 4-piętrowych, w których mieszkańcy mają do dyspozycji dużą przestrzeń, gdzie mogą chronić swoją prywatność. We wszystkich budynkach zastosowano nowoczesne rozwiązania technologiczne, a jego bezpieczeństwo zapewnia system ochrony i monitoringu. Bliskość komunikacji miejskiej, parków rekreacyjnych, obiektów użyteczności publicznej oraz centrum handlowego sprawiła, że inwestor uznał to za idealną lokalizację dla zabudowy mieszkaniowej (TriGranit, 2022).

Osiedle Dębowe Tarasy jest doskonałym przykładem atrakcyjności terenów poprzemysłowych dla budownictwa mieszkaniowego. Dobre połączenie z sąsiednimi miastami popularną Drogową Trasą Średnicową (DTS) przyczyniło się do podniesienia wartości tego terenu, wskutek



czego obecnie osiedle to ma do zaoferowania 1000 mieszkań dla nowych lokatorów. Po przeszło wieku od rozpoczęcia działalności kopalni teren został poddany rekultywacji i rewitalizacji i zaczął pełnić nowe, istotne dla miasta, funkcje.

4.2. Zespół loftów mieszkalnych Stary Spichlerz w Gliwicach

Zespół loftów w Gliwicach to pierwszy taki obiekt oddany do użytku w Polsce. Dziewiętnastowieczny spichlerz został przebudowany i zaadaptowany na budynek mieszkalny mieszczący trzydzieści lokali o charakterze loftowym. Jego przebudowa jest częścią większego przedsięwzięcia, jakim jest plan rewitalizacji 30-hektarowego obszaru zabudowanego dawnego pruskiego Urzędu Apropowizacji, który jest położony niemal w samym centrum miasta, niecały kilometr od rynku w Gliwicach. Historia spichlerza w czasach II wojny światowej była dość burzliwa, gdyż stacjonowały tam wojska okupantów, jednak już w latach 90. XX w. część obiektów została oddana we władanie miasta, które zagospodarowało je m.in. na sąd okręgowy czy bibliotekę (Szlak Zabytków Techniki, 2022).

Sam zespół mieszkalny to 15 domków szeregowych, powstałych z przebudowy dawnych stajni oraz 30 loftów o powierzchni od 80 do ponad 300 m² znajdujących się w budynku spichlerza. Pomieszczenia charakteryzuje otwarta przestrzeń, ograniczona tylko drewnianymi słupami podtrzymującymi stropy (Madeja, 2009).

Budynek nie stanowił w żaden sposób zagrożenia dla środowiska naturalnego, a teren nie nosił cech zanieczyszczenia czy skażenia (z uwagi na specyfikę przemysłu) przebudowa spichlerza nie wymagała zbyt dużej ingerencji zarówno w wygląd zewnętrzny, jak i w strukturę wewnętrzną. Projekt adaptacji spichlerza wykonała pracownia Medusa Group. Jako że obiekt jest wpisany do rejestru zabytków, dobudowane z zewnątrz klatki schodowe zostały estetycznie zintegrowane z elewacją tak, aby stanowiły harmonijną całość. Zostały zachowane oryginalne ściany z cegły, bez konieczności dodatkowego docieplania. W budynku zachowano też drewniane stropy i belkowania, wielkie okna, betonowe podłogi, znaczniki miar oraz zsyp na zboże, który w formie spirali przechodzi przez kolejne piętra, tworząc awangardową rzeźbę.





Fot. 2. Odnowiony budynek spichlerza w Gliwicach (Medusa Group, 2022)

Budynek spichlerza (fot. 2) znajduje się w atrakcyjnej części Gliwic, gdzie przeważa niska i średniowysoka zabudowa rezydencjonalna, co jest rzadkością w przypadku obiektów poprzemysłowych. Aranżacja obiektu na budynek mieszkalny była zatem przemyślana nie tylko pod kątem samej inwestycji, ale także zgodności z otaczającą zabudową. Niewielka skala inwestycji i dbałość o odtworzenie pierwotnego wyglądu budynku nadają mu nie tylko użytkowy charakter, ale także podkreślają wyjątkowość tego miejsca. Budynek wraz z loftami został oddany do użytku na przełomie lat 2009 i 2010 (Medusa Group, 2022).

4.3. Nowy Wełnowiec

Wełnowiec to dzielnica, której historia jest mocno związana z przemysłem ciężkim, zwłaszcza z wybudowaną w latach 70. XIX w. hutą cynku Hohenlohe. Po licznych zmianach w strukturze własności, po wojnie huta trafiła w ręce Zakładów Metalurgicznych Silesia. Innowacyjne technologie, spore zapotrzebowanie na wyroby i wysoka wydajność pracy sprawiły, że bardzo szybko huta stała się motorem napędowym państwowej gospodarki i stanowiła w pierwszym okresie po uzyskaniu niepodległości jedno z głównych ogniw przemysłu metali nieżelaznych. W latach 80. XX w. zakład został zamknięty (Silesia, 2022).





Fot. 3. Koncepcja Nowego Welnowca (JEMS, 2022)

Obszar inwestycji to teren o powierzchni blisko 25 ha, znajdujący się w Katowicach, pomiędzy Aleją W. Korfanteo a ul. Konduktorską. Powierzchnia użytkowa planowanych obiektów to około 270 tys. m², z czego największą część, bo ponad połowę, mają stanowić mieszkania. Jednak Nowy Welnowiec (fot. 3) to także biura, lokale gastronomiczne, usługowe, centra rozrywkowe, instytucje edukacyjne – wszystko, czego potrzebuje nowoczesna, w pełni autonomiczna dzielnica (JEMS, 2022). Za zarządzanie inwestycją odpowiada Eko-Bryza, którą kieruje Piotr Uszok, były prezydent Katowic. Nadzór deweloperski sprawuje firma inwestycyjna Grupa Capital Park, natomiast autorem koncepcji jest pracownia JEMS Architekci, znana z tak innowacyjnych projektów jak np. Międzynarodowe Centrum Kongresowe w Katowicach. Za prace związane z rekultywacją terenu odpowiedzialna jest firma Investeko. Inwestor przewiduje docelowo podaż około 3 tys. mieszkań dla ponad 7,5 tys. mieszkańców. Ponadto planowane jest przeniesienie całego ruchu samochodowego pod powierzchnię ziemi, co uczyni dzielnicę przyjazną i w całości opartą na ruchu pieszym. Ideą, jaka przyświeca tworzeniu Nowego Welnowca, jest powstanie osiedla-dzielnicy dla mieszkańców, przeznaczonego na wypoczynek, wspólne spędzanie czasu, dzielenie przestrzeni, zamiast dotychczasowego odgradzania osiedli.

Spory nacisk kładziony jest na ekologię – według projektu aż 56% całego obszaru mają zajmować tereny zielone. Starannie dobrana roślinność ma zresztą pomóc w procesie rekultywacji (fitoremediacji), oczyszczając teren z pozostałości zanieczyszczeń. Z uwagi na możliwe zanieczyszczenia bądź skażenie metalami ciężkimi (głównie cynkiem) grunty pod inwestycję zostały szczegółowo i dogłębnie zbadane, a następnie zostały dobrane optymalne sposoby rekultywacji terenu. Zgodnie z zaleceniami Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska niezbędne będzie przeprowadzenie prac remediacyjnych, mających na celu dokładne oczyszczenie z zanieczyszczeń



gleby, ziemi i wód gruntowych tak, aby nie stanowiły one zagrożenia ani dla ekosystemu, ani dla zdrowia i życia ludzi (RP, 2020). Jest to proces żmudny i długotrwały, jednak istotne jest, aby stopień bezpieczeństwa terenu nowej inwestycji nie pozostawiał żadnych wątpliwości. Inwestycja planowana jest na lata 2023–2033.

5. POTENCJAŁ INWESTYCYJNY TERENÓW POPRZEMYSŁOWYCH W OBSZARZE BUDOWNICTWA MIESZKANIOWEGO

Charakterystyka terenów przemysłowych może czynić je atrakcyjnymi dla nowych inwestycji. Z obserwacji i przeprowadzonych wcześniej badań wylaniają się zarówno stymulanty, jak i bariery dla zagospodarowania terenów przemysłowych na cele mieszkaniowe. W przypadku osiedla Dębowe Tarasy, zlokalizowanego na terenie byłej kopalni Gottwald, musiało upłynąć aż 100 lat, aby teren nadawał się do pełnienia funkcji nie tylko usługowo-handlowych, ale też mieszkalnych. Inwestycja jednak została przeprowadzona z powodzeniem i po blisko 20 latach od jej powstania można stwierdzić, że zakończyła się sukcesem. Osiedle nadal nosi miano prestiżowego i jest jedną z bardziej pożądaną lokalizacją wśród kompleksów mieszkalnych w mieście Katowice. Podobnie adaptacja starego spichlerza w Gliwicach, gdzie z poszanowaniem dziedzictwa historycznego zaadaptowano obiekt na mieszkania loftowe, jest udaną inwestycją na obszarze postindustrialnym. Działania podejmowane przez inwestora i projektantów skupiły się w tym przypadku nie na potencjalnym zagrożeniu dla środowiska naturalnego, lecz na eliminacji ewentualnego ryzyka związanego z konstrukcją i wiekiem budynku. Priorytetem było maksymalne bezpieczeństwo, przy minimalnej ingerencji w sam obiekt. Koncepcja osiedla-dzielnicy Nowy Welnowiec jest śmiałą propozycją zagospodarowania dość sporego obszaru po hucie cynku. Miejsce skażone metalami ciężkimi ma przeobrazić się w miejsce przyjazne dla życia. Oznacza to, że niezbędne będzie podjęcie zaawansowanych prac rekultywacyjnych. Jednak ta koncepcja pokazuje, że nawet tereny tak problematyczne mogą pod pewnymi warunkami stać się terenami odpowiednimi dla tak wymagającego typu inwestycji, jakim jest budownictwo mieszkaniowe.

Zarówno lokalizacja w centrum miast lub blisko nich (z uwagi na ich przeszłość), jak i bliskość najważniejszych arterii komunikacyjnych, a także nierzadko istniejące już zaplecze z infrastrukturą techniczną, sprawiają, że od dłuższego czasu tereny przemysłowe są w kręgu zainteresowania inwestorów. Są to swoiste stymulanty przeobrażeń i inwestycji w takie obszary. W obliczu deficytu niezagospodarowanej jeszcze przestrzeni, z jaką zmagają się coraz częściej gminy, tereny postindustrialne wydają się być świetnym rozwiązaniem przynoszącym korzyści zarówno inwestorowi, jak i gminie (wizerunkowo, społecznie, ekologicznie itp.). Pod względem kulturowym zagospodarowanie terenów przemysłowych wraz z obiektami cennymi architektonicznie (a takich jest





sporo), zaadaptowanymi bez drastycznego naruszania ich oryginalnego wyglądu, jest ocaleniem przed zniszczeniem dziedzictwa historycznego. Nadal dużo takich zabytków czeka na inwestorów, którzy przywrócą im dawny blask (np. elektrociepłownia Szombierki w Bytomiu, zabytkowa Rzeźnia Miejska w Chorzowie itp.).

Poprzemysłowy charakter może być również wadą, np. niejednolita struktura własności, zrujnowana i przeznaczona do wyburzenia infrastruktura czy nieznany stopień zanieczyszczenia otaczającego środowiska. Inwestor musi liczyć się z dodatkowymi kosztami, jakie może ponieść w związku z wyborem dla inwestycji takiego specyficznego obszaru. Tereny, które mają być przeznaczone na mieszkania dla ludzi, podlegają szczególnie rygorystycznym zasadom bezpieczeństwa. Nie jest zatem możliwe czy dopuszczalne, aby były to np. tereny:

- zagrożone osuwaniem się gruntu czy powstawaniem zapadlisk,
- o nieznanym stanie skażenia chemicznego,
- zanieczyszczone metalami ciężkimi, bez uprzedniego przeprowadzenia kompletnych prac rekultywacyjnych,
- hałdy pokopalniane, szczególnie te o nieznanym statusie radiologicznym bądź niewygaszone w pełni.

Oczywiście, przestrzeń przygotowywana pod jakąkolwiek nową inwestycję powinna mieć uregulowany status prawny związany ze strukturą właścicielską czy zapisami w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego. Tego rodzaju niejasności mogą stanowić poważną barierę dla zagospodarowywania terenów poprzemysłowych.

6. PODSUMOWANIE

Tereny poprzemysłowe nierzadko okazują się obszarami problematycznymi z uwagi na specyfikę wykonywanej na nich niegdyś działalności. Mogą być w wysokim stopniu zdegradowane, jednocześnie wyróżniają je często cechy pożądane przez inwestorów – bardzo dogodna lokalizacja, komfortowy dojazd głównymi arteriami w regionie, istniejące już zaplecze techniczne. Zwłaszcza lokalizacja i obecność dróg dojazdowych jest szczególnie wysoko ceniona przez inwestorów planujących usytuować na tych obszarach budynki mieszkalne. Po przeprowadzeniu niezbędnych prac polegających na dostosowaniu obszaru do rygorystycznych wymogów, jakie musi spełniać teren niezagrożający życiu ludzi, są cennym zasobem przestrzennym miasta i wykazują się znacznym potencjałem inwestycyjnym, również w zakresie budownictwa mieszkaniowego.



LITERATURA

- Badura P. (2021): Wybrane kierunki przekształceń terenów przemysłowych w centralnej części województwa śląskiego na podstawie analizy bazy OPI-TPP. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia*, Vol. 76(1), 163-188.
- Baum A., Bell P., Greene T. (2004): *Psychologia środowiskowa*. Gdańsk, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.
- BDL (2022): Bank Danych Lokalnych. <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/start> (dostęp: 10.03.–20.04.2022).
- Domański B. (2000): Restrukturyzacja terenów przemysłowych w miastach. W: Z. Ziobrowski, D. Ptaszycka-Jackowska, A. Rębowska, A. Geissler (Red.), *Odnova miast: rewitalizacja, rehabilitacja, restrukturyzacja* (s. 107-140). Kraków, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej.
- Gasidło K. (1998): *Problemy przekształceń terenów przemysłowych*. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Henzel H., Śmietana K., Zagórska E., Bolek T. (2009): Klasyfikacja terenów przemysłowych w województwie śląskim. *Świat Nieruchomości*, nr 1(67), 16-21.
- JEMS (2022): Nowy Welnowiec. JEMS Architekci. <https://jems.pl/projekty/urbanistyka/nowy-welnowiec.html> (dostęp: 15.04.2022).
- Klimek R. (2013): Identyfikacja barier przekształceń terenów przemysłowych w Prudniku. Przykład zakładów przemysłu bawełnianego „Frotex”. *Studia Miejskie*, T. 11, 55-66.
- Lamparska-Wieland M., Waga J. M. (2003): Znaczenie hałd poeksploatacyjnych w krajobrazie Górnego Śląska. *Archiwum Ochrony Środowiska*, nr 2(29), 107-113.
- Lorek A., Przybyłka A. (2008): Procesy restrukturyzacyjne i rewitalizacyjne obszarów przemysłowych. *Polityka Gospodarcza*, nr 15-16, 279-291.
- Madeja J. (2009): Lofty w starym spichlerzu już gotowe. Portal Bryła. https://www.bryla.pl/bryla/1,85301,7013903,Lofty_w_starym_spichlerzu_juz_gotowe.html (dostęp: 12.04.2022).
- Marciniak A. (2009): Rewitalizować czy adaptować obiekty górnicze – rozważania teoretyczne. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, T. 25(1), 137-145.
- Medusa Group (2022): Adaptacja budynku spichlerza na lofty mieszkalne. <https://www.medusagroup.pl/projekty/mieszkanie/spichlerz-adaptacja-budynku-spichlerza-na-lofty-mieszkalne/> (dostęp: 13.04.2022).
- Mitkowska A., Siewniak M. (1998): *Tezaurusz sztuki ogrodowej*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Rytm.
- Ostręga A., Uberman R. (2010): Kierunki rekultywacji i zagospodarowania – sposób wyboru, klasyfikacja i przykłady. *Górnictwo i Geoinżynieria*, R. 34(4), 442-460.
- Pancewicz A. (2012): Przyrodnicza rewitalizacja terenów przemysłowych. *Czasopismo Techniczne. Architektura*, R. 109(3-A), 313-317.
- Paszkiewicz R. (2006). Przekształcenie terenu pokopalnianego. *Czasopisma Techniczne*, Vol. 8, 315-321.
- RP (2020): Nowy Welnowiec: Gigantyczna ekodzielnicza w Katowicach. Portal Rzeczpospolita. <https://www.rp.pl/nieruchomosci/art8896641-nowy-welnowiec-gigantyczna-ekodzielnicza-w-katowicach> (dostęp: 16.04.2022).
- Rzewiczok U. (1999): *Dzieje Dębu (1299–1999): monografia historyczna dzielnicy Katowic*. Katowice, Muzeum Historii Katowic.
- Sikorski D. (2013): Proces sukcesji funkcjonalnej na terenach przemysłowych i poprzemysłowych w miastach województwa dolnośląskiego: studium przypadków. Wałbrzych, Wydawnictwo Uczelniane Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Angelusa Silesiusa.
- Silesia (2022): Historia. Silesia ZM SA. <http://www.silesiasa.pl/historia> (dostęp: 14.04.2022).
- Subregion (2022): Związek Gmin i Powiatów Subregionu Centralnego Województwa Śląskiego. <http://www.subregioncentralny.pl/o-zwiazku.html> (dostęp: 12.03.2022).
- Szajnowska-Wysocka A., Sobala M. (2013): Rewitalizacja przestrzeni miejskiej w konurbacji górnośląskiej. *Studia Miejskie*, T. 11, 9-25.
- Szlak Zabytków Techniki (2022): Loft w spichlerzu w Gliwicach <https://zabytkotechniki.pl/culturalheritage/2575/loft-w-spichlerzu-w-gliwicach> (dostęp: 11.04.2022).





Szumański M. (2005): Strukturalizacja terenów zieleni. Warszawa, Wydawnictwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego.

Szymańska D., Biegańska J. (2011): Fenomen urbanizacji i procesy z nim związane. Studia Miejskie, T. 4, 13-38.

Tenerowicz-Jedwabny A. (1997): „Stracone przestrzenie” współczesnych miast: przedstawienie teorii Rogera Trancika. Teka Komisji Urbanistyki i Architektury, T. 29, 65-96.

TriGranit (2022): Osiedle Dębowe Tarasy. TriGranit. <https://trigranit.com/project/oak-terraces/> (dostęp: 10.04.2022).

Ustawa (2015): Ustawa z dnia 9 października 2015 r. o rewitalizacji. Dz.U. 2015, poz. 177.

Wąsik D. (2008): W szczelinach rzeczywistości: niczyje Tokio. Autoportret – Pismo o Dobrej Przestrzeni, T. 23(2), 81-87.

Wielgus K., Myczkowski Z. (2007): Krajobrazy zaniechane. Czasopismo Techniczne. Architektura, R. 104(5-A), 179-181.



Katarzyna Pactwa, Justyna Woźniak

Zrównoważona ocena społeczno-środowiskowa obiektów pogórnich





Katarzyna Pactwa, Justyna Woźniak
Politechnika Wrocławska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

Zrównoważona ocena społeczno-środowiskowa obiektów pogórnich

1. WPROWADZENIE

Działalność przemysłowa niesie ze sobą szereg korzyści, takich jak rozwój gospodarczy regionu. Oferuje miejsca pracy i angażuje lokalnych dostawców. Wiąże się również z ingerencją w otoczenie, w tym środowisko przyrodnicze. Przekształcenia krajobrazu czy emisje zanieczyszczeń są niepożądanym efektem, szkodliwym dla zdrowia i wpływają negatywnie na komfort życia mieszkańców (Uliasz-Bocheńczyk i Mokrzycki, 2007; Solarski, 2013; Lamich i in., 2016; Milczarek, Blachowski i Grzempowski, 2017). Firmy, zwłaszcza te realizujące działania zgodne z celami zrównoważonego rozwoju (wymienionymi w Agendzie na rzecz Zrównoważonego Rozwoju 2030), dokładają starań, aby minimalizować ten negatywny wpływ i podejmują działania kompensujące straty i niedogodności dla różnych grup interesariuszy (zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych). Zagadnienia związane z wpływem przedsiębiorstw (w tym górniczych) na zdrowie i życie ludzi, a także na środowisko naturalne, były przedmiotem wielu badań (m.in. Lorenc i Sorokina, 2015; Górniak-Zimroz i Pactwa, 2016; Pactwa, 2019; Woźniak, 2019). Skupiały się one jednak na przedsiębiorstwach obecnie funkcjonujących, pomijając problemy powstające po zaprzestaniu działalności produkcyjnej. Przedmiotem rozważań badawczych przedstawionych w niniejszym rozdziale była infrastruktura poprzemysłowa związana m.in. z branżą wydobywcą. Na infrastrukturę tę składają się takie elementy, jak budynki naziemne, nieczynne szyby górnicze, a także stare wyrobiska i hałdy. Zrównoważony kontekst problemu naukowego dotyczy kwestii społecznych, środowiskowych, gospodarczych i przestrzenno-funkcjonalnych, w tym kierunków zmian prowadzących do poprawy jakości życia na terenach poprzemysłowych. Na potrzebę uwzględnienia trzech filarów zrównoważonego rozwoju przy planowaniu użytkowania terenów pogórnich wskazała Kivinen (2017). Zrównoważone planowanie wymaga oceny potencjału i ograniczeń użytkowania gruntów oraz lokalnych potrzeb regionu. Likwidacja zakładów przemysłowych (takich, jak kopalnie, przetwórnice, koksownie itp.) pociąga za sobą zarówno utratę miejsc pracy, jak i likwidację obiektów sportowych i kulturalnych, pozbawionych wsparcia finansowego z kopalń. Pozostałe konsekwencje to m.in. zanik życia społecznego, pozostawienie nieruchomości bez opieki, często bez pomysłu na ich zagospodarowanie. Po przekazaniu władzom lokalnym były one z czasem likwidowane (Kosmaty, 2011; Bainton i Holcombe, 2018). Problemy związane



z obiektami i terenami poprzemysłowymi mogą być jeszcze trudniejsze do rozwiązania, gdy decyduje o zamknięciu zostanie podjęta nagle lub wcześniej niż pierwotnie planowano. Mogą one dotyczyć firmy dowolnej wielkości, zarówno w krajach rozwijających się, jak i już rozwiniętych. Stacey i in. (2010) stwierdzili, że w ciągu swego życia kopalnia nie utrzymuje otwartej komunikacji i partnerstwa między różnymi grupami interesariuszy. Zagadnienie oceny i zagospodarowania obiektów pogórnich łączy się z tematyką gospodarki o obiegu zamkniętym. Gospodarka o obiegu zamkniętym jest ściśle związana z celami zrównoważonego rozwoju i oczekuje się, że zyska na znaczeniu w Unii Europejskiej (Helander i in., 2019). Jak czytamy w pracy Bondaruka (2018), rosnąca presja i świadomość społeczna zmusza przemysł górniczy do zajęcia się kwestią zrównoważonego rozwoju. Pojęcie GOZ (gospodarki o obiegu zamkniętym) odnosi się przede wszystkim do redukcji odpadów; ale w niniejszym rozdziale rozszerzono je, traktując obiekty, które pozostały po zamknięciu zakładów przemysłowych jako zasób, przy założeniu, że wiele z nich może być ponownie wykorzystanych. Takie propozycje można znaleźć w literaturze (Harfst, 2015). Rozwiązania wdrożone w Austrii, Niemczech czy Słowenii mają na celu zmianę postrzegania regionów zarówno z zewnątrz, jak i od wewnątrz. Oferowane atrakcje obejmują prezentację dziedzictwa górniczego, imprezy sportowe i kulturalne czy rekreację. Rozwiązania te wpisują się w strategię rozwoju regionu, podnoszą atrakcyjność i przyciągają młodych ludzi (Harfst, 2015).

Pewne złe praktyki obserwuje się również w odniesieniu do obiektów poprzemysłowych. Identyfikuje się je jako: (1) „świadomą beczynność” – prowadzącą do całkowitego zamknięcia obiektów górniczych, zwłaszcza starych szybów, co ogranicza ich funkcjonalne wykorzystanie przez cały okres ich poprzemysłowej egzystencji; (2) „adaptacja niszcząca” – związana z czasową poprawą stanu remontowanych obiektów w celu ich ponownego wykorzystania – prace remontowe są jednak wykonywane w standardzie minimalnym, skutkiem czego budynki pogórnice są niewłaściwie użytkowane, ich stan ulega dalszemu pogorszeniu; (3) „fałszywa rewitalizacja” – zapewnienie długoterminowej poprawy stanu obiektów poprzemysłowych i określenie ich nowych funkcji, jednak bez spełnienia zasadniczego wymogu zachowania pierwotnego charakteru budynków (Langer, 2016). Dokumentowanie takich złych praktyk, które minimalizują potencjał i wartość obiektów poprzemysłowych, jest uzasadnione głównie koniecznością planowania i trwałej oceny potencjału tych obiektów do ponownego wykorzystania.

2. ZARYS UWARUNKOWAŃ PRAWNYCH I PRZEGLĄD TERMINOLOGII

Potrzebę podjęcia działań naprawczych na terenach poprzemysłowych sygnalizowały Maciejewska i Ulanicka (2017). Uzasadnieniem tego typu prac według tych autorek jest negatywny wpływ nieużytków poprzemysłowych na społeczność lokalną. Rewitalizacja takich obiektów przyniosłaby



korzyści, oferując miejsca pracy i przestrzeń rekreacyjno-wypoczynkową. Przez zmianę warunków środowiskowych poprawiłaby się również jakość życia. Ograniczenie wpływu czynników antropogenicznych zmniejsza poziom zanieczyszczenia środowiska, a zdewastowane tereny i obiekty przywraca do użytkowania ich rekultywacja (Przewoźniak, 2005). Każdy projekt rewitalizacyjny powinien być realizowany z uwzględnieniem aspektów społecznych, ekonomicznych i środowiskowych. Rewitalizacja jest zdefiniowana zgodnie z Ustawą z dnia 9 października 2015 r. o rewitalizacji (Ustawa, 2015, art. 21) jako *złożony proces wyprowadzania ze stanu kryzysowego obszarów zdegradowanych, prowadzony w sposób kompleksowy, poprzez zintegrowane działania na rzecz lokalnej społeczności, przestrzeni i gospodarki, skoncentrowane terytorialnie, prowadzone przez interesariuszy rewitalizacji na podstawie gminnego programu rewitalizacji*. Według Programu Rządowego dla Terenów Poprzemysłowych (za Ostrega i in., 2019) rewitalizacja może być rozumiana jako połączenie rekultywacji i zagospodarowania. Proces rewitalizacji składa się z trzech etapów (Maciejewska i Turek, 2014): śledzenie historii dotychczasowego użytkowania terenu, identyfikacja i ocena aktualnego stanu terenu, oraz rekultywacja i zagospodarowanie terenu. Działania rewitalizacyjne należy prowadzić z rozwagą, zwłaszcza, gdy obiekt górniczy ma znaczną wartość dla dziedzictwa kulturowego. Tak jest w przypadku, gdy zachowały się relikty działalności górniczej, które po przeprowadzeniu rewitalizacji mogą stanowić ważne dla historii górnictwa świadectwo (Madziarz, 2013; Kaźmierczak, Lorenc i Strzałkowski, 2017; Kaźmierczak i in., 2019). Działania podejmowane na terenach poprzemysłowych powinny być wspierane zarówno przez członków społeczności lokalnej, jak i przez współpracujących z nią ekspertów reprezentujących różne dyscypliny naukowe (Mert, 2019).

Najczęściej używanym terminem w odniesieniu do obszarów poprzemysłowych (m.in. przez powyższych autorów) jest „rewitalizacja”. Alternatywnym pojęciem, preferowanym w przypadku terenów pogórnich, jest „adaptacja” (Kobyłańska i Gawor, 2017). Ta preferencja jest uzasadniona znaczeniem tych dwóch słów podanym w słownikach. Rewitalizować (łac. *re vita*, ang. *revitalize*) oznacza *dać nowe życie* (SMW, 2022), natomiast pierwszym znaczeniem tego słowa w Słowniku Języka Polskiego (SJP, 2022) jest *odbudowa zniszczonych budynków lub dzielnic miasta*. Adaptacja (łac. *adaptatio* – dostosowanie, ang. *adapt*) jest definiowana przez te słowniki jako akt *dopasowywania się (do nowego użytku) często przez modyfikację* (SMW, 2022; SJP, 2022) lub jako *przystosowanie do użytku innego niż pierwotnie zamierzone*. Podobnie Marciniak (2009) zauważył, że pojęcie „rewitalizacji” jest zbyt ogólne, aby można je było stosować w odniesieniu do tak specyficznych obiektów, jak obiekty pogórnice. Na podstawie różnych rozważań można uznać, że ogólne podejście do obiektów poprzemysłowych pozwala na stosowanie ogólnych pojęć, doprecyzowanie w zakresie obiektów pogórnich, pozwala na ich uszczegółowienie. Jednak niezależnie od tego, czy są prowadzone jako rewitalizacja czy adaptacja, faktyczne działania powinny być poprzedzone sporządzeniem spisu inwentarza i klasyfikacji





takich obiektów, w oparciu o odpowiednie kryteria oceny. Zalecane jest podejście holistyczne, oparte na zintegrowanym regionalnym zarządzaniu środowiskiem.

3. OBIEKTY POGÓRNICZE – PRZEGLĄD BADAŃ

Metodologia łączenia strategii zarządzania ryzykiem środowiskowym z zamykaniem kopalń podziemnych została opisana przez Sokola (2015). Na potrzebę podjęcia takich działań wskazuje też Gasidło (2013), który określa szczegółowe cele transformacji terenów i obiektów poprzemysłowych w trzech kategoriach: środowiskowej, gospodarczej i kulturowej. Wskazuje to, że proces przywracania nieużytkowanego terenu czy obiektu jest tak samo złożony jak wcześniejszy proces oceny tych obiektów i potrzeb regionów, a zatem wprowadzane zmiany mogą zarówno wspierać rozwój regionu, jak i służyć jego mieszkańcom. Kobyłańska i Gawor (2017) wymieniają następujące metody waloryzacji obiektów pogórnich oraz oceny możliwości i rodzaju działań rewitalizacyjnych: ocena abiotycznych elementów środowiska, analiza jakościowa i ocena projektów rewitalizacyjnych, ocena ogólnej wartości środowiska przyrodniczego, w szczególności jego wartości użytkowej, oraz metody wykorzystujące systemy informacji przestrzennej oparte na GIS, do identyfikacji stanu i potencjału obszarów pogórnich. Kobyłańska i Gawor (2017) wskazują również grupy czynników, które należy wziąć pod uwagę przy ocenie terenów pogórnich i obiektów dla projektów adaptacyjnych. Należą do nich czynniki związane z lokalizacją oraz czynniki: prawne, naukowe, historyczne, środowiskowe, rynkowe, ekonomiczne i społeczne. Co ważne, klasyfikacja dokonana na podstawie określonych czynników, powinna uwzględniać zamierzoną końcową funkcję obiektów poprzemysłowych. Obiekty pogórnice powinny nie tylko stanowić atrakcję turystyczną, ale być także szerzej postrzegane, np. w kontekście wytwarzania energii cieplnej (Woźniak i Pactwa, 2019) i jej podziemnego magazynowania (Menéndez i in., 2019), czy produkcji zielonej energii (Frejowski, Bondaruk i Duda, 2021). Puste pogórnice przestrzenie podziemne mogą być także wykorzystywane przez elektrownie szczytowo-pompowe (Xie i in., 2020). Koncepcja „zielonej infrastruktury” może przyczynić się do zrównoważonego rozwoju terenów pogórnich (Wirth i in., 2018). Takie podejście może pomóc w zwiększeniu szans na osiągnięcie celów i wymagań społecznych, mimo przeszkód technicznych, regulacyjnych i ekonomicznych, przy jednoczesnym zapewnieniu, że przewidywane wyniki pozostaną zgodne z wytycznymi i celami gospodarki o obiegu zamkniętym. Obszar Górnego Śląska był przedmiotem szeroko zakrojonych badań w tym zakresie. W 2020 r. Marcisz, Probiez i Gawor (2020) sporządzili inwentaryzację i indeksację hald, w której wskazali wielkopowierzchniowe ($30 \times 10^4 \text{ m}^2$) składowiska odpadów wydobywczych położone w granicach tego największego zagłębia węglowego w Polsce. Sporządzono szczegółową inwentaryzację 41 obiektów (eksploatowanych przez





27 kopalń), które zalecono do rekultywacji w celu zmniejszenia ich uciążliwości dla środowiska. Dla 13 z nich wskazano potencjalne, uzasadnione ekonomicznie, możliwości wydobywania węgla. Johansson, Krook, i Eklund (2012) podkreślili, że składowiska odpadów górniczych są częścią większych systemów społecznych i technicznych, które obejmują: technologię, politykę, kulturę, rynki, sieci i standardy techniczne. Zdaniem tych autorów, kluczową rolę w przekształcaniu składowisk w „kopalnie złota” mogą odegrać kreatywni przedsiębiorcy, którzy będą w stanie ocenić wartość składowiska. Przekształcanie składowisk (hald), np. w kopalnie surowców wtórnych, wymaga wyspecjalizowanych firm górniczych oraz interdyscyplinarnej współpracy m.in. ze środowiskiem akademickim. Projekty wydobywania surowców na składowiskach mogą przynieść dochód, o ile znajdą się rynki zbytu dla odzyskanych materiałów. Jednak na efektywność ekonomiczną może niekorzystnie wpłynąć obecność materiałów niebezpiecznych na składowiskach (Burlakovs i in., 2017). Oplacalność wydobywania surowców wtórnych ze składowisk odpadów (tzw. złoża antropogeniczne) badali m.in. van der Zee, Achterkamp i de Visser (2004), wykazując, że odzyskiwanie zasobów może nie być korzystne. Dlatego poszukiwanie nowych, atrakcyjnych rozwiązań, zrównoważonych społecznie i środowiskowo, wydaje się zasadne w przypadku obiektów przemysłowych (składowisk badanych w ramach projektu NEW-MINE) (NEW-MINE, 2022). Na podstawie opisanych rozwiązań wykorzystania odpadów wydobywczych Pactwa, Woźniak i Dudek (2019) zaproponowali zrównoważoną, społeczno-środowiskową strategię GOZ dla tego typu odpadów na wybranym obszarze oraz przedstawili analizę najbardziej efektywnego i najlepszego wykorzystania składowisk w złożonych uwarunkowaniach prawnych, ekonomicznych i technicznych. W rozdziale dokonano również rozróżnienia zamkniętych składowisk odpadów wydobywczych oraz składowisk historycznych, o których mowa w dyrektywie 2006/21/EC w sprawie gospodarowania odpadami z przemysłu wydobywczego (Dyrektywa, 2006). Wskazanie problemu odpadów wydobywczych jako pozostałości po działalności górniczej, jaki istnieje wiele lat po jej nagłym wstrzymaniu, to nowa perspektywa rozszerzająca podstawową definicję gospodarki o obieg zamknięty. Wyjście poza klasyczne ramy GOZ pozwoli na bardziej zrównoważone użytkowanie omawianych obiektów. Z kolei Ostrega i Cała (2020) przeprowadzili inwentaryzację górniczego miasta Rydułtowy (zwałowisko Szarlota) w celu określenia wartości krajobrazu pogórniczego. Autorzy zastosowali metodę oceny wartości krajobrazu, poprzedzoną wieloaspektową analizą i poznanie opinii lokalnej społeczności. Z ich artykułu wynika, że włączenie przemysłu do nowo projektowanego krajobrazu jest formą zachowania tożsamości lokalnej i częścią dziedzictwa kulturowego. Przykłady wykorzystania obiektów przemysłowych w turystyce przemysłowej przytaczane są w wielu publikacjach związanych z regionem Górnego Śląska (Nitkiewicz-Jankowska, 2006; Ostrega, 2013; Zagórska, 2016; Niezgoda i Nawrot, 2019). Kwestia



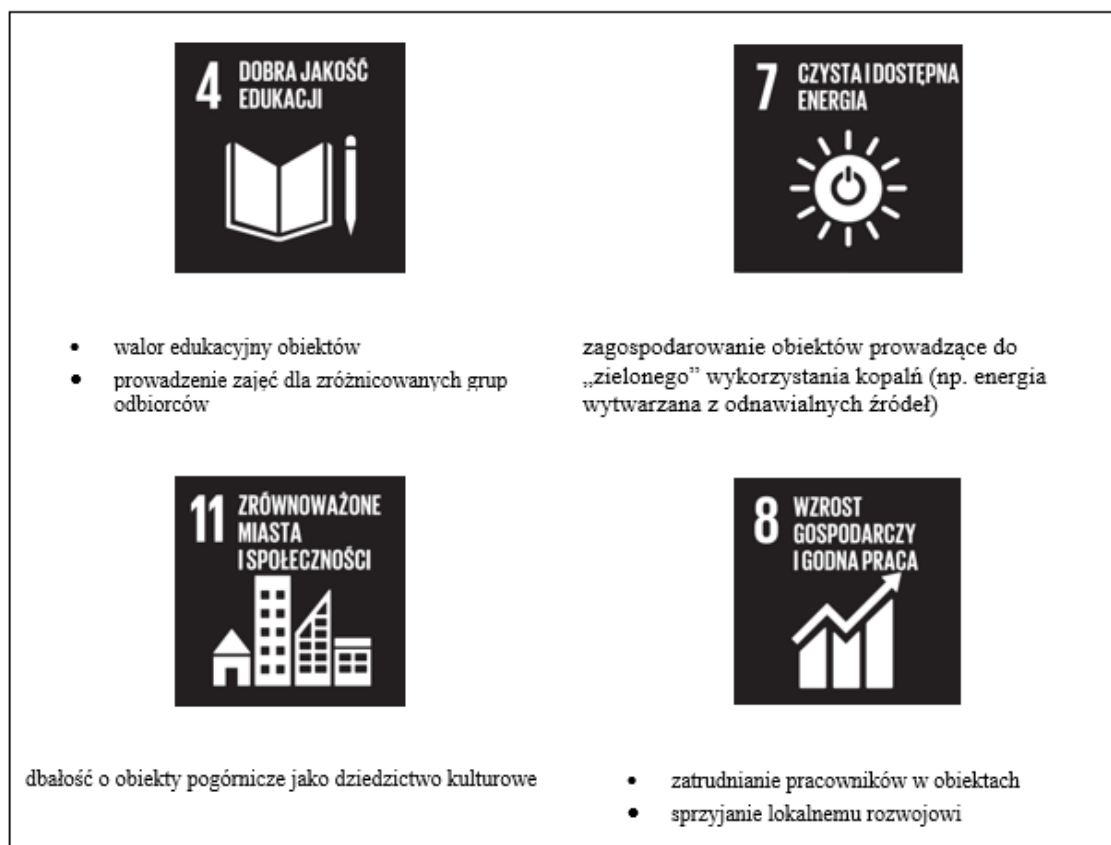
obiektów przemysłowych w regionach górniczych w Polsce jest otwarta i ważna z punktu widzenia osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r. W lipcu 2020 r. EIT Klimat-KIC i Metropolia Śląska nawiązały współpracę dotyczącą zmniejszenia emisji do 2050 r. (EIT, 2020). Idea projektu jest wzmocnienie pozycji regionu jako lidera zmian w ochronie środowiska, m.in. przez współpracę nad koncepcją miasta przyszłości. Ma to szczególne znaczenie z uwagi na coraz ostrzejsze wymogi UE wprowadzone w związku z kryzysem klimatycznym. W ramach europejskiego porozumienia w sprawie rozwiązań ekologicznych Komisja Europejska zaproponowała we wrześniu 2020 r. podniesienie celu redukcji emisji gazów cieplarnianych do 2030 r. do co najmniej 55% w stosunku do 1990 r. Próby klasyfikacji polskich terenów przemysłowych zostały już podjęte. Skupiały się głównie na województwie śląskim (Henzel i in., 2009). Wnioski o przydatności bazy terenów przemysłowych są argumentem za wykonaniem podobnych badań na innych obszarach.

4. OCENA SPOŁECZNO-ŚRODOWISKOWA OBIEKTÓW POGÓRNICZYCH

Strategia gospodarki o obiegu zamkniętym dla odpadów i obiektów przemysłowych omawiana jest na poziomie dyrektyw unijnych (Dyrektywa, 2018) i w aktualnych polskich wytycznych (GOZ, 2019). Najpopularniejszą koncepcją GOZ jest redukcja, ponowne użycie, recykling i odzyskiwanie materiałów w procesach produkcji, dystrybucji i konsumpcji, zgodnie z szeroko pojętym zrównoważonym rozwojem (uwzględnienie środowiska, społeczeństwa i rozwoju gospodarczego obecnych i przyszłych pokoleń). Pojęcie gospodarki o obiegu zamkniętym jest identyfikowane na trzech różnych poziomach wynikających z zakresu powiązanych działań, tj. na poziomie makro (miasto, kraj itp.), poziomie mikro (produkty, firmy, konsumenci itp.) oraz poziomie mezo (określanym jako poziom regionalny, np. parki ekoprzemysłowe) (Fang, Côté i Qin, 2007; Sakr i in., 2011; Jackson, Lederwasch i Giurco, 2014; Kirchherr, Reike i Hekkert, 2017).

Wdrażanie zasad i idei GOZ jest wyzwaniem, przed którym stoi przemysł, w tym również branża górnicza. Długoterminowym celem polityki UE jest zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów, a jeśli ich wytwarzanie jest nieuniknione, promowanie ich wykorzystania jako zasobów, szersze upowszechnienie recyklingu i zapewnienie bezpiecznego unieszkodliwiania odpadów. Choć zagadnienia dotyczące zrównoważonej gospodarki odpadami górnictwem pojawiają się w pracach naukowych, to cały czas temat ten można uznać za aktualny i warty uwagi (Aznar-Sanchez i in., 2018).

Wykonanie przeglądu kierunków adaptacji wybranych obiektów pogórnictwa (przemysłowych) pozwala na ocenę zgodności prowadzonych działań z celami zrównoważonego rozwoju (ang. *Sustainable Development Goals*, SDGs). W zestawionych w tabeli 1 obiektach stwierdzono bezpośrednią zbieżność z czterema celami: SDG4, SDG7, SDG11 oraz SDG12 (rys. 1).



Rys. 1. Cele zrównoważonego rozwoju – realizacja w wyniku adaptacji

Do wskazania kierunków działań proekologicznych i prospołecznych, spójnych z Agendą 2030 (UNEP, 2015) wybrano typy obiektów pogórnich przedstawionych w tabeli 1.

Tabela 1. Analizowane obiekty pogórnice

Nazwa i typ obiektu (kopalnia, technologia, data otwarcia/zamknięcia; tryb zamknięcia)	Lokalizacja obiektu	Kierunek rewitalizacji/adaptacji	Plany rozwoju/planowane inwestycje	Źródło finansowania/inwestor	Kierunek prospołeczny i proekologiczny	Zbieżność z celami SDGs
Kopalnia Guido (węgiel kamienny, eksploatacja podziemna, 1855 r. – pierwszy szyb; 1967 r. – kopalnia doświadczalna; 1982 r. – część wyrobisk przystosowano do udostępnienia jako Skansen Górniczy Guido, od 2007 r. – zabytkowa kopalnia Guido, od 2013 r. obiekt należy do Muzeum Górnictwa Węglowego w Zabrzu.	Polska środkowo-południowa część Zabrza	Turystyczny, edukacyjny i kulturowy	W 2021 r. otwarto strefę Carnall w Zabrzu, która jest częścią projektu „Rewitalizacja i udostępnienie przemysłowego Dziedzictwa Górnego Śląska” dofinansowanego ze środków UE (Program Infrastruktura i Środowisko). Strefa Carnall – zespół zabytkowych kopalnianych zabudowań z przełomu XIX i XX wieku, zamyka dotychczasowe działania prowadzone m.in. w Kopalni Guido i Sztolni Królowej Luizy. Kopalnia zaliczana jest do tras Europejskiego Szlaku Dziedzictwa Przemysłowego (ERIH).	Zaangażowanie wielu instytucji w tym samorządu miejskiego Zabrza, Urzędu Marszałkowskiego Województwa Śląskiego i osób prywatnych, 2006 r. – Ministerstwo Energii.	Tak	4, 11



Nazwa i typ obiektu (kopalnia, technologia, data otwarcia/zamknięcia; tryb zamknięcia)	Lokalizacja obiektu	Kierunek rewitalizacji/ adaptacji	Plany rozwoju/planowane inwestycje	Źródło finansowania/ inwestor	Kierunek prospołeczny i pro- ekologiczny	Zbieżność z celami SDGs
Muzeum Śląskie (węgiel kamienny, eksploatacja podziemna, kopalnia funkcjonowała w latach 1823–1999, dawna kopalnia Katowice stała się nową siedzibą muzeum w 2015 r., adaptacja dotyczyła części zabytkowych pokopalnianych obiektów, pochodzących z przełomu XIX i XX w. Wśród nich są dwa szyby wyciągowe – Warszawa II i niezwykle cenny Bartosz z unikatową XIX-wieczną parową maszyną wyciągową).	Polska, woj. śląskie, Katowice	Kulturowo- edukacyjny	Muzeum, odpowiadając na bieżące potrzeby, uzupełnia ofertę edukacyjną, oferując zajęcia dzieciom z Ukrainy; w latach ubiegłych umożliwiono zwiedzanie online w zakładce strony internetowej muzeum „Wirtualne spacer po wystawach”, aktualizowana i poszerzana jest propozycja wystaw czasowych, a w zasobach muzealnych pojawiają się nowe nabytki.	Muzeum regionalne, instytucja kultury współprowadzona przez Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego i Ministerstwo Kultury, Dziedzictwa Narodowego i Sportu, finansowanie rewitalizacji/adaptacji: środki unijne, Mechanizm Finansowy Europejskiego Obszaru Gospodarczego i Fundusze Norweskie.	Tak	4, 11
Centrum Nauki i Sztuki Stara Kopalnia (węgiel kamienny, eksploatacja podziemna, za umowną datę powstania kopalni przyjmuje się 1770 r., jako kopalnia Julia działała od 1945 r., będąc największą z walbrzyskich kopalń, wydobyte do 1996 r., likwidacja w 1998 r., w szybie Sobótka pozostał 40-metrowy odcinek rury szybowej prowadzącej do zabytkowej Lisiej sztolni, rewitalizacja kopalni zakończyła się w 2014 r.	Polska, woj. dolnośląskie, Walbrzych	Turystyczno- edukacyjny	W strukturach Starej Kopalni działa: muzeum przemysłu i techniki, galeria sztuki współczesnej, centrum ceramiki unikatowej, pokoje gościnne i kawiarnia; oferta Centrum jest aktualizowana; podejmowane inicjatywy wykraczają poza podstawową działalność obiektu, m.in. budowa (w tym zakup niezbędnych urządzeń) infrastruktury służącej wytwarzaniu energii pochodzącej z promieniowania słonecznego przez członków Klastra Energetycznego (projekt dofinansowany z UE).	Projekt współfinansowany przez UE ze środków europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Infrastruktura i Środowisko.	Tak	4, 7, 11
C-Mine (Winterslag), (węgiel kamienny, eksploatacja podziemna), 1917 r. – rozpoczęcie wydobywania, 1988 r. – zaprzestanie wydobywania.	Belgia, miasto Genk, prowincja Limburgia	Kulturowo- edukacyjny, muzeum, cele rozrywkowe	Po zakupie nieużytków poprzemysłowych w 2001 r. miasto Genk i rząd flamandzki postanowiły wykorzystać ten potencjał, tworząc C-Mine. Projekt jest oparty na sojuszach z wieloma partnerami takimi, jak uniwersytety, instytuty badawcze, przedsiębiorcy. C-Mine ma ambicje stać się znanym na całym świecie ośrodkiem sztuki, rekreacji, turystyki i przedsiębiorczości, zwłaszcza w sektorze kreatywnej gospodarki/gier.	Władze miasta podjęły działania mające na celu rewitalizację zachowanego szkieletu kopalni oraz rewitalizację i zagospodarowanie towarzyszących jej zwalów. Finansowanie: m.in. z UE z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.	Tak	4, 11
Bois du Cazier (węgiel kamienny, eksploatacja podziemna), 1822 r. – rozpoczęcie wydobywania, 1967 r. – zaprzestanie wydobywania.	Belgia, miasto Marcinelle, prowincja Hainaut	Muzeum, sztuka, kultura	Jeden z czterech obiektów wpisanych na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO w ramach projektu Główne obiekty górnicze Walonii. Obiekt zaliczany do tras ERIH.	Specjalnie powołana fundacja celowa i wsparcie finansowe Unii Europejskiej.	Tak	11

Nazwa i typ obiektu (kopalina, technologia, data otwarcia/zamknięcia; tryb zamknięcia)	Lokalizacja obiektu	Kierunek rewitalizacji/ adaptacji	Plany rozwoju/planowane inwestycje	Źródło finansowania/ inwestor	Kierunek prospołeczny i pro- ekologiczny	Zbieżność z celami SDGs
Delloye (węgiel kamienny, eksploatacja podziemna), 1931 r. – rozpoczęcie wydoby- cia, 1971 r. – zaprzestanie wydobycia.	Francja, miasto, Lewarde, departament Nord	Muzeum, sztuka, turysty- ka, nauka	Miejsce uznane za pomnik historii, z mu- zeum górnictwa, archi- wum dokumentów (książki, fotografie, wideogramy, nagrania dźwiękowe) wpisane na listę UNESCO.	Dyrekcja pań- stwowych kopalni Houillères du Nord et du Pas- de-Calais posta- nowiła stworzyć miejsce pamięci trzech wieków działalności górnictwa; wspólne finansowanie publiczne i pry- watne.	Tak	4, 11
Levant Mine and Beam Engine (ruda miedzi i in., eksploatacja podziemna) 1820 r. – rozpoczę- cie wydobywania, 1930 r. – zakoń- czenie wydobywania.	Wielka Brytania, Kornwalia	Muzeum, turystyka	Obiekt na liście UNESCO	Właściciel: National Trust, organizacja zajmująca się ochroną zabytków i przyrody w Wielkiej Bryta- nii. Przygotowuje raporty roczne dotyczące środo- wiska przyrodni- czego, zarządzania oraz spraw finansowych.	Tak	11
Eden Project, otwarty w 2001 r. (głina, eksploatacja odkrywkowa).	Wielka Brytania, Kornwalia	Edukacja, bioróżnorod- ność	Podstawę funkcjonowa- nia Eden Project stanowi zrównoważony rozwój, cyklicznie publikowane są raporty, a od 2019 r. raport Gander Pay Gap (luka płacowa), projekt jest rozwijany i przynosi korzyści dla regionu: zysk finansowy, miejsca pracy, korzystanie z ofert lokalnych dostawców; kształtuje też świadom- ość ekologiczną miesz- kańców. Nieprzerwanie planowane są i realizo- wane nowe zadania, w tym inicjatywy między- narodowe.	Komisja Milenijna Southwest Region- al Development Agency, środki pochodzące z UE pożyczki komercyj- ne.	Tak	4, 8, 11

Źródło: Poniewiera, Maciejowska-Figiel i Wróbel (2015), Chybiorz i Paliga (2017), Langer (2016, 2019), Luiza (2021), Eden (2022), Guido (2022), Levant (2022), Muzeum Śląskie (2022), Stara Kopalnia (2022), World Heritage (2022), C-Mine (2022)



5. PODSUMOWANIE

Przegląd literatury i regulacji prawnych pokazuje wiele aspektów gospodarki o obiegu zamkniętym w kontekście obiektów przemysłowych. W rozdziale podjęto próbę uzasadnienia tezy, że rzetelna ocena społeczna i środowiskowa takich obiektów jest koniecznością. Dokonano przeglądu terminologii związanej z inwentaryzacją takich obiektów i ich klasyfikacją i przedstawiono różne formy zagospodarowania obiektów przemysłowych w sytuacji, gdy przestają pełnić swoją pierwotną funkcję. Za przykład posłużyły wybrane obiekty krajowe i zagraniczne, które zostały podzielone według kryterium prospołecznego i prośrodowiskowego przypisano im też cele SDGs. W kolejnym etapie planowane jest przeprowadzenie badań zmierzających do złożonej inwentaryzacji, waloryzacji obiektów przemysłowych, w której zostanie uwzględniona duża liczba kryteriów i aspektów zagrożenia. Takie podejście pozwoli na klasyfikację obiektów przed ich zagospodarowaniem. W Polsce często obserwuje się degradację infrastruktury przemysłowej wiele lat po zamknięciu przedsiębiorstwa (w tym kopalń). W obliczu m.in. problemów związanych z redukcją emisji i rentownością, należy spodziewać się likwidacji kopalń. Przygotowanie rozwiązań związanych z wyzwaniami społecznymi, środowiskowymi i ekonomicznymi może przyczynić się do wdrożenia dobrych praktyk na etapie zamykania kopalń, tym bardziej, że dotychczas nie było to realizowane kompleksowo i systematycznie.

LITERATURA

Aznar-Sánchez J. A., García-Gómez J. J., Velasco-Muñoz J. F., Carretero-Gómez A. (2018): Mining Waste and Its Sustainable Management: Advances in Worldwide Research. *Minerals*, Vol. 8(7), 284.

Bainton N., Holcombe S. (2018): A Critical Review of the Social Aspects of Mine Closure. *Resources Policy*, Vol. 59, 468-478.

Bondaruk J. (2018): Comprehensive R&D Services To Enhance Management Of Mining And Post-Mining Resources Linked To Sustainability Rules. W: 25th World Mining Congress, 19–22 June 2018, Astana, Kazakhstan.

Burlakovs J., Kriipsalu M., Klavins M., Bhatnagar A., Vincevica-Gaile Z., Stenis J., Yahya J., Mykhaylenko V., Denafas G., Turkadze T., Hogland M., Rudovica V., Kaczala F., Rosendal R. M., Hogland W. (2017): Paradigms on Landfill Mining: From Dump Site Scavenging to Ecosystem Services Revitalization. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 123, 73-84.

Chybiorz R., Paliga M. (2017): Nowa podziemna trasa geoturystyczna w Zabrze. *Przegląd Geologiczny*, Vol. 65(11/3), 1436-1440.

C-Mine (2022): C-Mine. <https://www.c-mine.be/en> (dostęp: kwiecień 2022).

Dyrektywa (2006): Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006 on the Management of Waste from Extractive Industries and Amending Directive 2004/35/EC—Statement by the European Parliament, the Council and the Commission. L 102/15.

Dyrektywa (2018): Directive 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2008/98/EC on Waste. L 150/109.

Eden (2022): The Eden Project. <https://www.edenproject.com/> (dostęp: kwiecień 2022).



EIT (2020): EIT Climate-KIC and Silesian Metropolis Join Forces to Transform Europe's Largest Coal Region in the Face of the Climate Crisis. <https://www.climate-kic.org/press-releases/eit-climate-kic-and-silesian-metropolis-join-forces-to-transform-europes-largest-coal-region-in-the-face-of-the-climate-crisis> (dostęp: kwiecień 2022).

Fang Y., Côté R. P., Qin R. (2007): Industrial sustainability in China: Practice and prospects for eco-industrial development. *Journal of Environmental Management*, Vol. 83(3), 315-328.

Frejowski A., Bondaruk J., Duda A. (2021): Challenges and Opportunities for End-of-Life Coal Mine Sites: Black-to-Green Energy Approach. *Energies*, Vol. 14(5), 1385.

Gasidło K. (2013): Przekształcenia terenów i obiektów poprzemysłowych jako problem urbanistyczno-architektoniczny województwa śląskiego. *Zeszyty Naukowe. Architektura/Politechnika Śląska*, z. 52, 65-80.

Górniak-Zimroz J., Pactwa K. (2016): Influence of Opencast Mining Activity on the Environment and on Man – An Analysis with the use of Geographic Information Systems. W: *Proceedings of the 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2016*, 30 June–6 July 2016, Albena, Bulgaria (Vol. 2, s. 493-500). Sofia, Alexander Malinov blvd.

GOZ (2019): Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym. Projekt. Gospodarka o Obiegu Zamkniętym. Warszawa, Rada Ministrów.

Guido (2022): Historia Kopalni Guido. <https://kopalniaguido.pl/historia> (dostęp: kwiecień 2022).

Harfst J. (2015): Utilizing the Past: Valorizing Post-Mining Potential in Central Europe. *The Extractive Industries and Society*, Vol. 2(2), 217-224.

Helander H., Petit-Boix A., Leipold S., Bringezu, S. (2019): How to Monitor Environmental Pressures of a Circular Economy: An Assessment of Indicators. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 23(5), 1278-1291.

Henzel H., Śmietana K., Zagórska E., Bolek T. (2009): Klasyfikacja terenów poprzemysłowych w województwie śląskim. *Świat Nieruchomości*, nr 1(67), 16-21.

Jackson M., Lederwasch A., Giurco D. (2014): Transitions in Theory and Practice: Managing Metals in the Circular Economy. *Resources*, Vol. 3(3), 516-543.

Johansson N., Krook J., Eklund M. (2012): Transforming Dumps into Gold Mines. Experiences from Swedish Case Studies. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Vol. 5, 33-48.

Kaźmierczak U., Lorenc M. W., Strzałkowski P. (2017): The Analysis of the Existing Terminology related to a Post-Mining Land Use: A Proposal for new Classification. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 76, 693.

Kaźmierczak U., Strzałkowski P., Lorenc M. W., Szumska E., Pérez Sánchez A. A., Baker K. A. C. (2019): Post-Mining Remnants and Revitalization. *Geoheritage*, Vol. 11, 2025-2044.

Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. (2017): Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 127, 221-232.

Kivinen S. (2017): Sustainable Post-Mining Land Use: Are Closed Metal Mines Abandoned or Re-Used Space? *Sustainability*, Vol. 9(10), 1705.

Kobyłańska M., Gawor Ł. (2017): Problematyka przeobrażeń przestrzennych w procesach rewitalizacji terenów poprzemysłowych. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, Vol. 31(1), 68-80.

Kosmaty J. (2011): Wałbrzyskie tereny pogórnice po 15 latach od zakończenia eksploatacji węgla. *Górnictwo i Geologia*, T. 6(1), 131-148.

Lamich D., Marschalko M., Yilmaz I., Bednářová P., Niemiec D., Kubečka K., Mikulenkova V. (2016): Subsidence Measurements in Roads and Implementation in Land Use Plan Optimisation in Areas Affected by Deep Coal Mining. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 75, 69.

Langer P. (2016): 'Old-new' Mining Towns – Examples of the Renovation and Adaptation of Post-Industrial Objects. *Civil and Environmental Engineering Reports*, Vol. 21(2), 71-80.

Langer P. (2019): "POST-MINING REALITY" in Western Europe: Selected Collieries in Belgium and France Following Discontinuation of Coal Mining. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 471(11), 112003.

Levant (2022): Levant Mine and Beam Engine. <https://www.museumsincornwall.org.uk/Levant-Mine-and-Beam-Engine/Cornwall-Museums/> (dostęp: kwiecień 2022).



Lorenc S., Sorokina O. (2015): Sustainable Development of Mining Enterprises as a Strategic Direction of Growth of Value for Stakeholders. *Mining Science*, Vol. 22, 67-78.

Luiza (2021): Sztolnia "Królowa Luiza" otrzymała wsparcie z FE. <https://www.pois.gov.pl/strony/wiadomosci/fundusze-europejskie-pomagaja-odkrywac-weglowy-szlak/> (dostęp: kwiecień 2022).

Maciejewska A., Turek A. (2014): Rewitalizacja obszarów poprzemysłowych ze szczególnym uwzględnieniem uwarunkowań środowiska przyrodniczego: wybrane studia przypadków. *Problemy Rozwoju Miast*, nr 2, 81-94.

Maciejewska A., Ulanicka M. (2017): Wybrane aspekty społeczne i środowiskowe procesu rewitalizacji obszarów poprzemysłowych. *Biuletyn Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN*, nr 266, 93-104.

Madziarz M. (2013): Historical Ore Mining Sites in Lower Silesia (Poland) as Geo-Tourism Attraction. *Acta Geoturistica*, Vol. 4(1), 15-26.

Marciniak A. (2009): Rewitalizować czy adaptować obiekty pogórnice – rozważania teoretyczne. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, T. 25(1), 137-145.

Marcisz M., Probiez K., Gawor Ł. (2020): Possibilities of Reclamation and Using of Large-Surface Coal Mining Dumping Grounds in Poland. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, Vol. 36(1), 105-122.

Menéndez J., Ordóñez, A., Álvarez R., Loredó J. (2019): Energy from Closed Mines: Underground Energy Storage and Geothermal Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 108, 498-512.

Mert Y. (2019): Contribution to Sustainable Development: Re-Development of Post-Mining Brownfields. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 240, 118212.

Milczarek W., Blachowski J., Grzempowski P. (2017): Application of PSInSAR for Assessment of Surface Deformations in Post-Mining Area – Case Study of the Former Walbrzych Hard Coal Basin (SW Poland). *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 14(1), 41-52.

Muzeum Śląskie (2022): Muzeum Śląskie. <https://muzeumslaskie.pl/pl/> (dostęp: kwiecień 2022).

NEW-MINE (2022): EU Training Network for Resource Recovery Through Enhanced Landfill Mining. <http://new-mine.eu/> (dostęp: kwiecień 2022).

Niezgoda A., Nawrot Ł. (Red.) (2019): *Kierunki Rozwoju Współczesnej Turystyki*. Kraków, Proksenia.

Nitkiewicz-Jankowska A. (2006): Turystyka przemysłowa wizytówką Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały*, Vol. 117(32), 251-256.

Ostrega A. (2013): *Organizacyjno-finansowe modele rewitalizacji w regionach górniczych. Rozprawy, Monografie*, 279. Kraków, Wydawnictwa AGH.

Ostrega A., Cala M. (2020): Assessing the Value of Landscape Shaped by the Mining Industry – A Case Study of the Town of Rydułtowy, Poland. *Archives of Mining Sciences*, 65(1), 3-18.

Ostrega A., Łacny Z., Kowalska N., Preidl K. (2019): Rekultywacja, zagospodarowanie i rewitalizacja terenów pogórnich – przegląd doświadczeń Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii. *Przegląd Górniczy*, T. 75(10), 11-20.

Pactwa K. (2019): Zakres realizacji celów zrównoważonego rozwoju przez sektor górniczy w Polsce. Wrocław, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.

Pactwa K., Woźniak J., Dudek M. (2019): Coal Mining Waste in Poland in Reference to Circular Economy Principles. *Fuel*, Vol. 270, 117493.

Poniewiera M., Maciejowska-Figiel E., Wróbel M. (2015): Numeryczny model wyrobisk zabytkowej kopalni węgla kamiennego „GUIDO”. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, z. 62(3/II/15), 337-350.

Przewoźniak M. (2005): Teoretyczne aspekty przyrodniczej rewitalizacji miast: ku metodologii zintegrowanej rewitalizacji urbanistyczno-przyrodniczej. *Teka Komisji Architektury, Urbanistyki i Studiów Krajobrazowych*, T. 1, 25-34.

Sakr D., Baas L., El-Haggag S., Huisinigh D. (2011): Critical Success and Limiting Factors for Eco-Industrial Parks: Global Trends and Egyptian Context. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19(11), 1158-1169.

SJP (2022): Słownik Języka Polskiego. <https://sjp.pwn.pl> (dostęp: kwiecień 2022).

SMW (2022): Słownik Merriam-Webster. <https://www.merriam-webster.com/> (dostęp: kwiecień 2022).



- Sokół W. A. (2015): Risk-Based Methodology for Pre-Evaluation of Environmental Technologies for Sustainable Revitalization of Post-Industrial Sites. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, Vol. 21(4), 1032-1049.
- Solarski M. (2013): Anthropogenic Transformations of the Bytom Area Relief in the Period of 1883–1994. *Environmental Socio-Economic Studies*, Vol. 1(1), 1-8.
- Stacey J., Naude A., Hermanus M., Frankel P. (2010): The Socio-Economic Aspects of Mine Closure and Sustainable Development: Literature Overview and Lessons for the Socio-Economic Aspects of Closure – Report 1. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 110(7), 379-394.
- Stara Kopalnia (2022): Stara Kopalnia. <https://starakopalnia.pl/> (dostęp: kwiecień 2022).
- Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E. (2007): Emissions from the Polish Power Industry. *Energy*, Vol. 32(12), 2370-2375.
- UNEP (2015): Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development> (dostęp: kwiecień 2022).
- Ustawa (2015): Ustawa z dnia 9 października 2015 r. o rewitalizacji. *Dz. U.* 2015 poz. 1777.
- van der Zee D. J., Achterkamp M. C., de Visser B. J. (2004): Assessing the Market Opportunities of Landfill Mining. *Waste Management*, Vol. 24(8), 795-804.
- Wirth P., Chang J., Syrbe R. U., Wende W., Hu T. (2018): Green Infrastructure: A Planning Concept for the Urban Transformation of Former Coal-Mining Cities. *International Journal of Coal Science and Technology*, Vol. 5, 78-19.
- World Heritage (2022): World Heritage Journeys. Europe. <https://visitworldheritage.com/en/eu> (dostęp: kwiecień 2022).
- Woźniak J. (2019): Rola i implementacja koncepcji społecznej odpowiedzialności w funkcjonowaniu branży wydobywczej i energetycznej. Wrocław, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.
- Woźniak J., Pactwa K. (2019): Possibilities for Using Mine Waters in the Context of the Construction of Heat Energy Clusters in Poland. *Energy, Sustainability and Society*, Vol. 9, 13.
- Xie H., Zhao J. W., Zhou H. W., Ren S. H., Zhang R. X. (2020): Secondary utilizations and perspectives of mined underground space. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 96, 103129.
- Zagórska E. (2016): Turystyka przemysłowa w województwie śląskim jako czynnik rozwoju regionu. http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/9204/Turystyka_przemys%20owa_w.pdf?sequence=1 (dostęp: kwiecień 2022).

Aleksandra Kozłowska-Woszczycka, Karolina Owczarz,
Monika Hajnrych

Geomonitoring jako narzędzie wspomagające zarządzanie środowiskiem na obszarach pogórnich





Aleksandra Kozłowska-Woszczycka, Karolina Owczarz, Monika Hajnrych
Politechnika Wrocławska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
Katedra Geodezji i Geoinformatyki

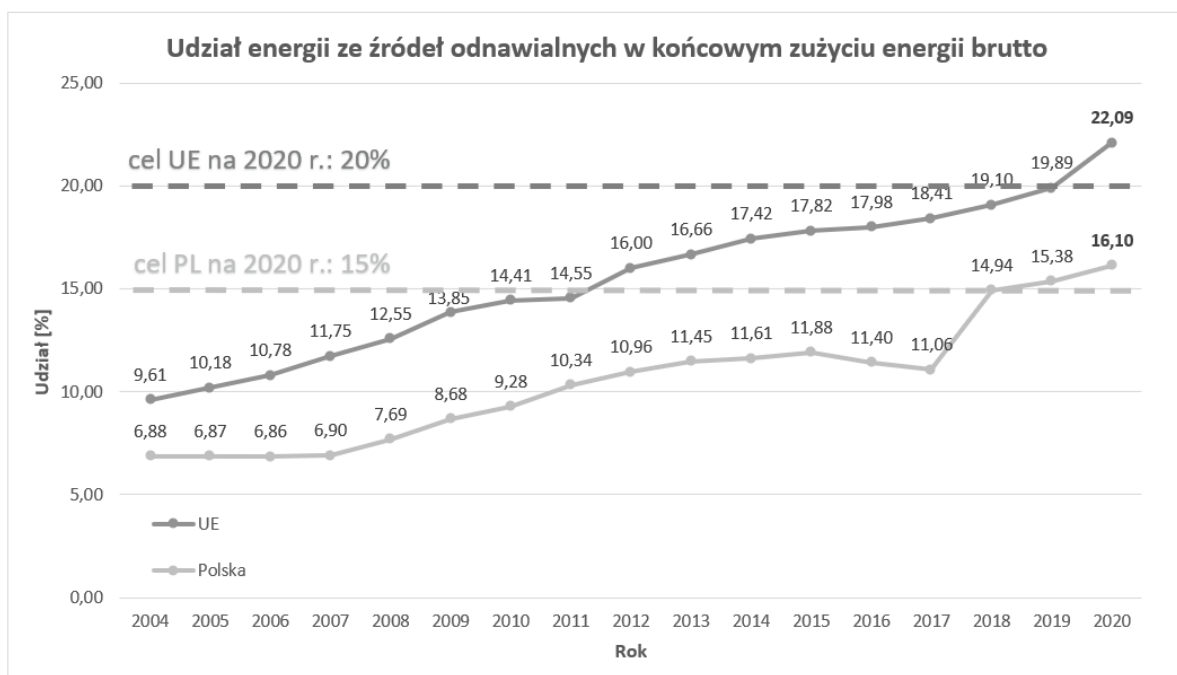
Geomonitoring jako narzędzie wspomagające zarządzanie środowiskiem na obszarach pogórnich

1. WPROWADZENIE

W Polsce podstawowym surowcem, z którego wytwarzana jest energia elektryczna i ciepło systemowe, jest węgiel kamienny. Na drugim miejscu znajduje się węgiel brunatny. Udział mocy węglowej w krajowym miksie energetycznym w 2021 r. wyniósł 58,5% (Agencja Rynku Energii, 2022). Spalanie węgla ma duży udział w produkcji szkodliwych gazów cieplarnianych i jest odpowiedzialne za ich znaczną emisję do atmosfery (Karmaker i in., 2020). Zatwierdzona przez Radę Ministrów w marcu 2022 r. uchwała w sprawie przyjęcia „Polityki Surowcowej Państwa”, przewiduje stopniowe zmniejszanie udziału węgla w wytwarzaniu energii elektrycznej. Unia Europejska określiła strategię nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki. Prowadzona polityka klimatyczna oraz inicjatywy i wytyczne w ramach Europejskiego Zielonego Ładu zakładają ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Obranym celem jest osiągnięcie zerowego poziomu emisji do 2050 r. i oddzielenie wzrostu gospodarczego od wykorzystania zasobów naturalnych (Komunikat, 2019).

Międzynarodowe porozumienia i inicjatywy wymuszają transformację sektora energetycznego i przejście na gospodarkę opartą na wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii (OZE). Państwa członkowskie Unii Europejskiej są zobowiązane do zapewnienia określonego udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Założone cele na 2020 r., przewidujące 15-procentowy udział OZE w Polsce i 20-procentowy w UE, zostały osiągnięte. Wskaźnik udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto systematycznie rośnie, co przedstawiono na rysunku 1.

Według Raportu Europejskiej Agencji Środowiska (Report, 2021) szacuje się, że do 2020 r. UE osiągnęła trzy cele klimatyczno-energetyczne: zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 20% w porównaniu do 1990 r., zwiększenie udziału energii odnawialnej do 20% i poprawę efektywności energetycznej o 20%. Zwiększenie celów redukcyjnych stało się nowym, ambitnym celem UE. Tym samym, osiągnięcie zwiększonego przejściowego celu zmniejszenia emisji o 55% do 2030 r. (w stosunku do 1990 r.), stało się dużym wyzwaniem dla gospodarek opartych na wydobywaniu węgla, w tym Polski.



Rys. 1. Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto.

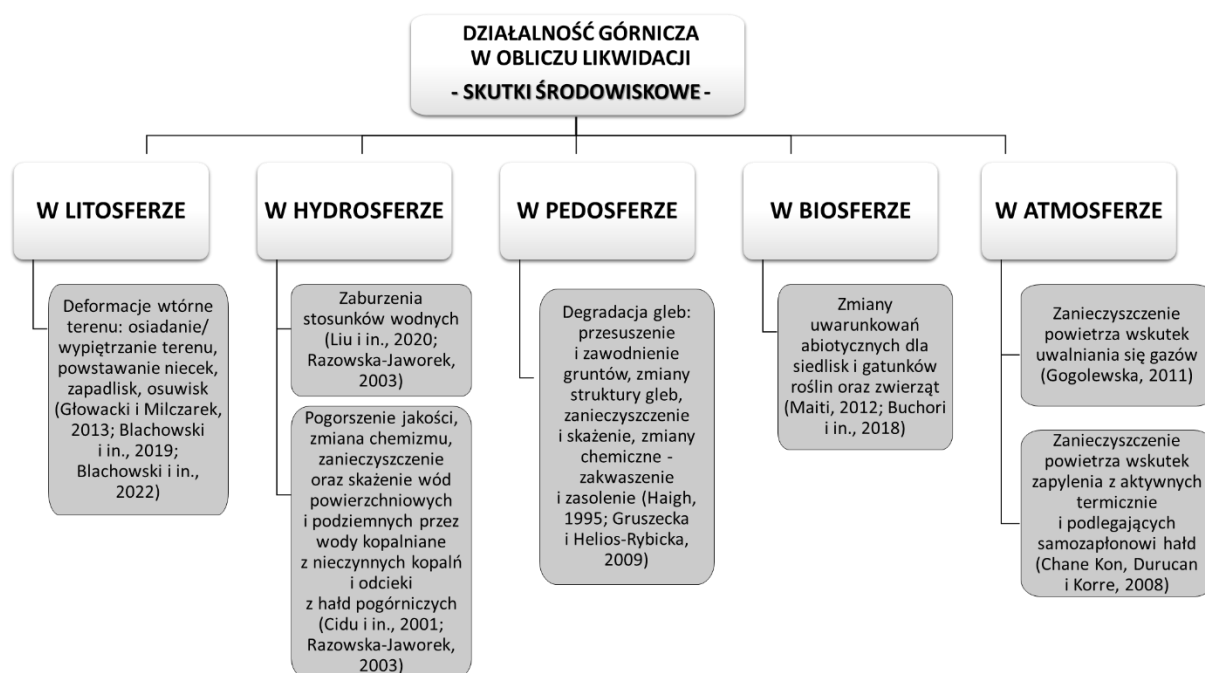
Oprac. na podstawie danych Eurostatu

Transformacja energetyczna wymaga dekarbonizacji, co wiąże się z nieuniknionym procesem likwidacji kopalń. Mimo tego, że przemiany gospodarcze nie są nowością, a działalność górnicza ma zawsze charakter przejściowy (Sesele, Marais i van Rooyen, 2021), procesy likwidacyjne w przemyśle wydobywczym, z racji działań na rzecz ochrony klimatu, będą przyspieszone. Jak podkreślił Kretschmann (2020), obszary objęte likwidacją w sektorze wydobywczym, wymagają kompleksowego monitorowania i zarządzania. To co wyróżnia działalność górniczą, to jej rozproszenie przestrzenne i duży zasięg oddziaływania, obejmujący rozległy obszar (Wójcik, 2020). W literaturze dostrzega się potrzebę wdrażania odpowiednich działań, polegających na stałym monitoringu środowiska na obszarach pogórnich i mających na celu wczesne reagowanie w obliczu pojawiających się zagrożeń (Duda, 2018; Kretschmann, 2020). W niniejszym rozdziale przedstawiono przydatne do tego celu zdalne metody obserwacji Ziemi, pozwalające na detekcję zmian środowiskowych na rozległych obszarach pogórnich w obrębie litosfery, pedosfery, hydrosfery, biosfery oraz atmosfery. Przeprowadzono studium literatury, w którym skupiono się na technikach dostarczających dane środowiskowe charakteryzujące się wysoką rozdzielczością czasową i dużym zasięgiem przestrzennym. Na tej podstawie zaproponowano ich praktyczne wykorzystanie do kontroli stanu elementów środowiska na obszarach pogórnich.



2. SKUTKI ŚRODOWISKOWE LIKWIDACJI KOPALŃ

Działalność górnicza, będąca jednym z najdłużej oddziałujących czynników antropopresji w obrębie litosfery, powoduje jedno z największych przeobrażeń antropogenicznych środowiska. Wydobywanie surowców, mimo że bezpośrednio wpływa tylko na litosferę, skutkuje powstaniem wzajemnie powiązanych oddziaływań i ujawnianiem się pośrednich zmian w obrębie pozostałych sfer (Wójcik, 2020). Na rysunku 2 przedstawiono skutki środowiskowe likwidacji kopalń. Jak można zauważyć, zakończenie eksploatacji pociąga za sobą wiele konsekwencji środowiskowych, które pojawiają się w każdej sferze powłoki ziemskiej. Te negatywne skutki środowiskowe są związane przede wszystkim z naruszeniem litosfery oraz zmianami jakościowymi i ilościowymi wód podziemnych, spowodowanymi procesem wydobywania surowców. Górnictwo odpowiedzialne jest również za składowanie odpadów pogórnicznych w postaci hałd, które oddziałują negatywnie na otoczenie i stwarzają zagrożenie w obrębie hydrosfery (odcieki zanieczyszczające wody), pedosfery (odcieki zanieczyszczające gleby), biosfery (zanieczyszczone wody i gleby przyczyniają się do zmniejszenia bioróżnorodności gatunkowej) oraz atmosfery (samozapłonowy powodujące zanieczyszczenie i zapylenie powietrza).



Rys. 2. Skutki środowiskowe likwidacji kopalń

Oddziaływanie górnictwa na środowisko naturalne jest w większości przypadków nieodwracalne (Kretschmann, 2020), co spowodowała długotrwała i intensywna eksploatacja. Ponowne przywrócenie wartości przyrodniczych i użytkowych obszarom zdegradowanym przez górnictwo jest co najmniej trudne. Likwidacja górnictwa wiąże się z potrzebą prowadzenia



działań rekultywacyjnych i zabezpieczających obszar kopalni przed zagrożeniami, które mogą wystąpić po zakończeniu eksploatacji (Jarosz, 2009). Rekultywacja gruntów kopalnianych stanowi integralną część zrównoważonego rozwoju kopalni (Cao, 2007). Działania naprawcze związane z przekształconym antropogenicznie krajobrazem pogórnym powinny być priorytetem, biorąc pod uwagę zarówno aspekt ochrony środowiska, jak i potrzebę zapewnienia niezanieczyszczonej i zdrowej przestrzeni dla mieszkańców regionów pogórnym.

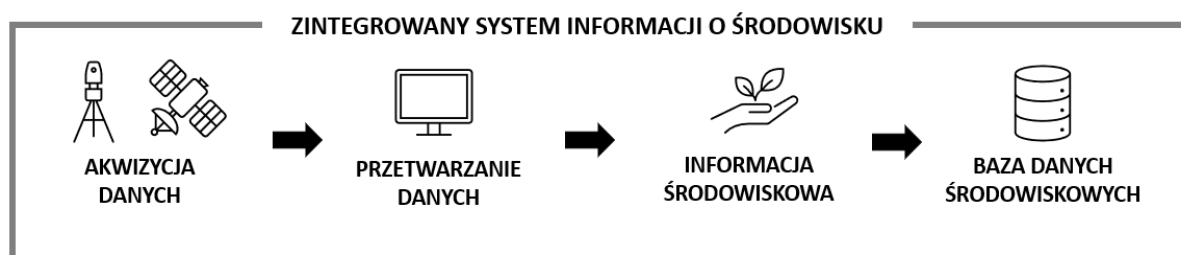
3. MONITOROWANIE ŚRODOWISKA

W związku z rosnącą świadomością konsekwencji, jakie pociąga za sobą likwidacja kopalni oraz wyzwań, jakie stawiają działania na rzecz zrównoważonego rozwoju, wymagane jest prowadzenie monitoringu obszarów pogórnym oraz zapewnianie konkretnych i stabilnych ram zarządzania środowiskowego. Monitoring środowiska umożliwia ocenę jego stanu oraz obserwacje i prognozowanie zachodzących zmian (Yang i Jiuyun, 2011). Może on dotyczyć: działalności zakładu (poziom lokalny), kraju, kontynentu lub całego świata (poziom globalny) i skupiać się na całym środowisku lub poszczególnych jego elementach (np. atmosfera, hydrosfera, litosfera). W Polsce od 1991 r. funkcjonuje Państwowy Monitoring Środowiska (PMŚ), utworzony na mocy Ustawy z dnia 20 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska (Ustawa, 1991). PMŚ stanowi system służący do pomiarów, oceny i prognoz stanu środowiska, a także gromadzenia, przetwarzania i rozpowszechniania informacji o środowisku. Obecnie obowiązuje Strategiczny program państwowego monitoringu środowiska na lata 2020–2025. System ten jest oparty na przekazywaniu informacji organom administracji i społeczeństwu o stanie elementów środowiska naturalnego oraz o ich zmianach. Informacje wytworzone w ramach PMŚ wykorzystywane są przez jednostki administracji rządowej i samorządowej dla potrzeb zarządzania środowiskiem.

Zarządzanie środowiskiem na podstawie planowanych działań przedsiębiorstw ma na celu utrzymanie środowiska naturalnego w jak najlepszym stanie. Jest to szczególnie ważne na obszarach pogórnym, gdzie skutki długotrwałej eksploatacji są odczuwalne przez wiele lat. Bąk (2021, s. 16) definiuje zarządzanie środowiskiem jako: *naukę i działalność praktyczną polegającą na projektowaniu, wdrażaniu, kontrolowaniu i koordynowaniu procesów gospodarowania środowiskiem, a więc korzystania, użytkowania, ochrony i kształtowania środowiska*. Sprawowanie kontroli w celu przeciwdziałania degradacji środowiska, w ramach zarządzania środowiskiem, może być usprawnione dzięki kompleksowemu podejściu do jego monitorowania. Może to być uzyskane przez dopelnienie stosowanych dotąd tradycyjnych terenowych metod pomiarowych technikami zdalnymi (w niektórych przypadkach mogą one całkowicie zastąpić metody tradycyjne).



Monitorowanie środowiska może być zorganizowane jako system informacyjny wykorzystywany do obserwacji zmian, oceny środowiska i reagowania w przypadku wystąpienia nadzwyczajnych zagrożeń środowiskowych (Bzowski, 2000). Do funkcjonowania takiego systemu niezbędne jest zapewnienie odpowiedniego oprogramowania, narzędzi i algorytmów, za pomocą których możliwe będzie przetwarzanie pozyskanych danych. Rysunek 3 przedstawia schemat przykładowego zintegrowanego systemu informacji o środowisku, łączącego pozyskiwanie i przetwarzanie danych w celu otrzymania informacji środowiskowej.



Rys. 3. Zintegrowany system informacji o środowisku

4. GEOMONITORING OBSZARÓW POGÓRNICZYCH

Nieunikniona likwidacja górnictwa oznacza konieczność zmierzenia się z jej negatywnymi i długofalowymi skutkami środowiskowymi. Sprawny przebieg procesu prowadzącego do trwałego usunięcia lub minimalizacji negatywnych oddziaływań górnictwa wymaga odpowiedniego i świadomego zarządzania, opartego na odpowiedniej ilości danych środowiskowych o wysokiej jakości. Sposobem na pozyskanie takich danych może być szeroko rozumiany geomonitoring, który polega na eksploracji ziemi z wykorzystaniem metod i technik pomiarowo-obserwacyjnych. W tabeli 1 przedstawiono metody zdalnego monitorowania terenów górniczych, które mogą być wykorzystywane po zakończeniu eksploatacji do wspomagania i obserwowania postępów procesu rekultywacji. Zdalne techniki obserwacji nie mają ograniczeń zarówno w przypadku wielkości, jak i typu monitorowanego obszaru, dlatego mogą być wykorzystywane na specyficznych obszarach, jakim są np. tereny górnicze. Ze względu na znaczną antropopresję tych terenów oraz spodziewane zmiany środowiskowe, powinny one być kompleksowo i stale objęte monitoringiem, który pozwala na dostrzeganie zmian w obrębie litosfery, pedosfery, hydrosfery, biosfery i atmosfery.

Tabela 1. Zdalne metody monitoringu

Metoda	Przedmiot badań	Strefa
Satelitarna Interferometria Radarowa (ang. <i>Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR</i>)	– deformacje powierzchni terenu pod wpływem eksploatacji podziemnej (Alam i in., 2020; Dong i in., 2021) – deformacje powierzchni terenu pod wpływem wstrząsów indukowanych (Milczarek, 2019; Owczarz i Blachowski, 2020) – deformacje zboczy w kopalni odkrywkowej (Du i in., 2019; Yuan i in., 2021) – stabilność osuwiska (Chen i in., 2021)	Litosfera
Bezzałogowy statek powietrzny , tzw. dron (ang. <i>Unmanned Aerial Vehicle, UAV</i>) wyposażony w specjalistyczną kamerę lub czujnik	– monitorowanie zagospodarowania przestrzennego terenu górniczego i deformacje powierzchni (Kajzar i in., 2011; Bui i in., 2017) – badanie pęknięć i związanych z nimi zmineralizowanych żył kwarcowych w kopalni (Sayab i in., 2018) – zanieczyszczenie gleby, w tym potencjalnie toksycznych pierwiastków i węglowodorów ropopochodnych (Gholizadeh i in., 2018) – straty gleby w wyniku erozji wodnej na obszarach po wyrobiskach górniczych (Carabassa i in., 2021) – erozja gleby na zwałowisku (Gong i in., 2019) – zmiany właściwości gleby w szczelinach na terenie górniczym (Mi i in., 2022) – monitorowanie ognisk pożarów hald i składowisk (Straková i Řezníček, 2013; Wasilewski, 2020; Prosekov i in., 2022) – pomiary stężenia gazów w atmosferze (Khan i in., 2012)	Litosfera/pedosfera/atmosfera
Systemy Globalnej Nawigacji Satelitarnej (ang. <i>Global Navigation Satellite Systems, GNSS</i>)	– deformacje powierzchni terenu pod wpływem eksploatacji (Tao i in., 2019; Parwata i in., 2020) – deformacje powierzchni terenu pod wpływem wstrząsów indukowanych (Szczerbowski i Jura, 2015; Szczerbowski, 2019; Ilieva i in., 2020) – stabilność osuwiska (Nie i in., 2015)	Litosfera
LIDAR (ang. <i>Light Detection and Ranging, LiDAR</i>)	– deformacje powierzchni (Zheng i in., 2022) – inwentaryzacja kopalni odkrywkowej (Wajs i in., 2021) – niestabilność gruntu i ocena skuteczności zabezpieczeń inżynierskich stosowanych w reorientacji wyrobiska (Evanek i in., 2021) – inwentaryzacja wyrobisk górniczych (Bindzarova Gergelova i in., 2021)	Litosfera
Przetwarzanie danych satelitarnych	– monitorowanie stanu roślinności (Antwi, Krawczynski i Wiegleb, 2008; Szostak i in., 2019), wykrywanie zmian pokrycia terenu (Mi i in., 2019), badanie wilgotności gruntu (Bian i in., 2009; Yi i in., 2021) – wykrywanie zmian ilościowych w wodach powierzchniowych (Rokni i in., 2015; Kryniecka i Magnuszewski, 2020) i podziemnych (Rodell i in., 2007; Xie i in., 2018) – monitorowanie temperatury powierzchni ziemi (Gemitzi, Dalampakis i Falalakis, 2021; Liu i in., 2021) i wykrywanie pożarów hald (Nádudvari i in., 2021) – monitorowanie stężenia gazów w atmosferze (Schneising i in., 2019) – monitorowanie zawiesin (pyłów) w wodach powierzchniowych (Lobo, Costa i Novo, 2015) – wyznaczanie obszaru wpływu leja depresji (Zawadzki, Paździecki i Miatkowski, 2016)	Biosfera/pedosfera/hydrosfera/atmosfera



Przedstawione w tabeli 1 metody badań są stosowane głównie na obszarach wydobywania różnych surowców, nie tylko energetycznych oraz na terenach, na których zachodzą tożsame z tymi wywołanymi likwidacją kopalń, zmiany środowiskowe. Skupiono się przede wszystkim na technikach dostarczających dane środowiskowe o wysokiej rozdzielczości czasowej i dużym zasięgu przestrzennym. Znaczna część przytoczonych badań jest oparta na zobrazowaniach satelitarnych (radarowych i optycznych) lub zdjęciach wykonanych przez specjalistyczne kamery (Kajzar i in., 2011; Bui i in., 2017; Sayab i in., 2018; Milczarek, 2019; Owczarz i Blachowski, 2020; Dong i in., 2021; Alam, Kumar i Chatterjee, 2022). W mniejszym stopniu natomiast wykorzystano dane w postaci chmury punktów z pomiarów LIDAR (Evanek i in., 2021; Wajs i in., 2021; Zheng i in., 2022). Dane pozyskane za pomocą wyżej wymienionych technik mogą dostarczać informacji o każdym, związanym z likwidacją kopalń, oddziaływaniu na środowisko. Do detekcji różnego rodzaju deformacji powierzchni (wypiętrzenia lub obniżenia terenu) czy monitorowania osuwisk stosowana jest głównie metoda InSAR z modyfikacjami (np. Small Baseline Subset, SBAS), o czym pisali m.in. Alam, Kumar i Chatterjee (2020), Owczarz i Blachowski (2020), Chen i in. (2021). W podobnych przypadkach wykorzystywano również GNSS (Nie i in., 2015; Szczerbowski, 2019; Ilieva i in., 2020; Parwata i in., 2020), UAV (Kajzar i in., 2011; Bui i in., 2017) oraz LIDAR (Evanek i in., 2021; Zheng i in., 2022).

Dane pozyskane przy pomocy UAV służyły głównie do badania stanu gleb (Gholizadeh i in., 2018; Gong i in., 2019; Carabassa i in., 2021; Mi i in., 2022). Warto podkreślić, że UAV zapewniają jedynie platformę lotniczą, a powodzenie monitoringu zależy od czujników, w jakie jest ona wyposażona. W przypadku monitorowania gleb zostały wykorzystane czujniki spektralne umożliwiające analizę ilościową i jakościową pozyskanych danych o składzie gleby (Gholizadeh i in., 2018). Zamontowana na statku powietrznym kamera termowizyjna z kolei okazała się przydatna do wyszukiwania ognisk pożarów i monitorowania pożarów hałd pokopalnianych (Prosekov i in., 2022). Co więcej, wyniki obserwacji prowadzonych zarówno za pomocą UAV, jak i LIDAR, wykorzystywane są do tworzenia modeli 3D powierzchni terenu, w tym jego pokrycia (Wajs i in., 2021) i sposobu użytkowania (Bindzarova Gergelova i in., 2021). Ren i in. (2019) dokonali dokładnego przeglądu wykorzystania UAV do monitorowania obszarów górniczych.

Wykorzystanie obserwacji satelitarnych do monitorowania środowiska jest oparte na przetwarzaniu zobrazowań, w tym m.in. obliczaniu tzw. wskaźników teledetekcyjnych. Obszernego przeglądu i opisu tych wskaźników, które mogą być wykorzystywane dla obszarów pogórnich, dokonali Pawlik i in. (2021). Mówiąc o obserwacjach satelitarnych należy podkreślić wagę europejskiego programu Copernicus, który zapewnia dostęp do aktualnych i dokładnych danych teledetekcyjnych, które są wykorzystywane do zarządzania środowiskiem



(European Space Agency, 2022). Zestawione w tabeli 1 metody badań oparte na przetwarzaniu obrazów satelitarnych, w dużym stopniu wykorzystują produkty programu Copernicus i dane pochodzące z satelitów Sentinel-2 do monitorowania roślinności (Szostak i in., 2019), koryt rzecznych (Kryniecka i Magnuszewski, 2020), anomalii temperaturowych powierzchni Ziemi (Liu i in., 2021) i Sentinel-5P do obserwowania zanieczyszczeń powietrza i zawartości gazów w atmosferze (Schneising i in., 2019). Dane satelitarne Landsat również są wykorzystywane do obserwacji środowiska naturalnego. Na ich podstawie można określić zawartość pyłów w powierzchniowych zbiornikach wodnych (Lobo, Costa i Novo, 2015), a także obszar oddziaływania leja depresji (Zawadzki, Przeździecki i Miatkowski, 2016). Kanale termalne Landsat (5, 7 i 8) wykorzystywane są również do wyznaczania temperatury powierzchni Ziemi i jej anomalii. Inny program satelitarny – GRACE dostarcza informacji o czasoprzestrzennych anomaliiach pola grawitacyjnego Ziemi. Tym samym pomiar zmiennego w czasie pola grawitacyjnego można przekształcić w zmiany masy powierzchniowej na Ziemi. Taki stan jest głównie spowodowany zmianami ilości wód podziemnych (Rodell i in., 2007; Xie i in., 2018).

W przytoczonych badaniach dużą rolę odgrywają narzędzia, przy pomocy których możliwe jest przetwarzanie zarejestrowanych danych przestrzennych i ich analiza. Całe spektrum narzędzi oferują systemy informacji geograficznej (ang. *Geographic Information Systems*, GIS), a także uczenie maszynowe (ang. *machine learning*, ML). Wykorzystanie GIS do danych przestrzennych może obejmować ich: gromadzenie w bazach danych, wstępne przetwarzanie (odpowiedni format, rozdzielczość), edycję i modyfikację, zarządzanie, ale także obliczania wskaźników i indeksów, analizy przestrzenne oraz modelowanie (Kisan i in., 2015; Orimoloye i Ololade, 2020; Owczarz i Blachowski, 2020; Carabassa i in., 2021). Te czynności mają na celu ułatwienie interpretacji aktualnego stanu środowiska lub jego zmian. W związku z tym GIS stanowi wsparcie przy dokonywaniu oceny zagrożeń środowiskowych i w procesie rekultywacji terenów pogórnich (Karan, Samadder i Maiti, 2016; Suh i in., 2017; Buczyńska, 2020). Uczenie maszynowe natomiast dostarcza narzędzi, które wykorzystywane są do modelowania zjawisk i ich przewidywania, a także do klasyfikacji danych. Umożliwia także określanie zależności statystycznych między modelowanymi danymi a danymi, które je objaśniają. Przy pomocy uczenia maszynowego m.in. prognozowano stężenie chromu (Cr) w odpadach kopalnianych (Khosravi i in., 2021), klasyfikowano gleby na terenie górniczym pod względem ich degradacji (Wang i in., 2021), określano związek między szczelinami w gruncie, powstałymi w wyniku wydobywania kopaliny, a zmianami właściwości gleby (Mi i in., 2022).





5. PODSUMOWANIE

Polska stoi przed wyzwaniem, jakim jest sprostanie wymaganiom wynikającym z prowadzonej przez Unię Europejską polityki klimatycznej. W związku z przyjętymi przez UE celami stopniowego ograniczania emisji gazów cieplarnianych, zwiększania udziału OZE w krajowych miksach energetycznych i poprawiania efektywności energetycznej, niezbędne jest odpowiednie przygotowanie do procesów transformacyjnych. Rezygnacja z wykorzystania węgla w energetyce i ciepłownictwie wiąże się z likwidacją kopalń, która wymaga kompleksowego podejścia, biorąc pod uwagę zarówno aspekty środowiskowe, jak i społeczne, co w literaturze podkreślają m.in. Bainton i Holcombe (2018), Vivoda, Kemp i Owen (2019), Kretschmann (2020), Sesele, Marais i van Rooyen (2021). Wydobywanie kopalin powoduje bezpośrednie i pośrednie skutki środowiskowe, które w większości przypadków są nieodwracalne. Negatywne efekty długoletniej eksploatacji dotyczą każdej sfery powłoki ziemskiej i mogą pojawiać się przez wiele lat od zakończenia wydobywania surowca. Łagodzenie negatywnych oddziaływań związanych z długotrwałą eksploatacją powinno być priorytetem, dlatego, w obliczu likwidacji i rekultywacji, niezbędne jest monitorowanie i wczesne reagowanie w przypadku pojawiających się zagrożeń.

Przedstawione metody monitoringu zapewniają dostęp do danych, dzięki którym możliwe jest pozyskanie informacji środowiskowych. Wykorzystanie takich metod ma wiele zalet, wśród których należy wymienić przede wszystkim możliwość prowadzenia obserwacji na dużych i trudno dostępnych obszarach, przy jednoczesnym zapewnianiu satysfakcjonującej rozdzielczości zarówno czasowej, jak i przestrzennej pozyskiwanych danych (Ren i in., 2019). Ich wykorzystanie wiąże się również z oszczędnością czasu i środków, jakie należałoby przeznaczyć dla uzyskania informacji o środowisku, stosując tradycyjne metody pomiarowe. Należy przy tym podkreślić, że całkowita rezygnacja z pomiarów terenowych w przypadku monitoringu obszarów pogórnicznych jest niemożliwa. W zależności od wykorzystywanych metod, należy być świadomym również ich ograniczeń, np. wrażliwość na zmienne warunki pogodowe, określony czas rewizyty, problemy z odbiorem sygnału GNSS, występowanie zachmurzenia na obrazach satelitarnych, brak możliwości penetracji roślin. Mimo to zdalne techniki pomiarowe mogą stanowić uzupełnienie i wzbogacenie informacji pozyskanych *in situ*. Równoczesne wykorzystywanie zdalnych technik pomiarowych i pomiarów *in situ* zapewnia synergię, która umożliwia pozyskanie bardziej wiarygodnych i dokładniejszych informacji środowiskowych.

Należy podkreślić istotną rolę narzędzi GIS w przetwarzaniu zarejestrowanych obserwacji w sposób zdalny i *in situ*, bo dzięki nim możliwe jest opracowanie danych i otrzymanie informacji środowiskowych. Największą zaletę GIS stanowi to, że posiada komponenty usprawniające pracę



z danymi przestrzennymi, poczynając od ich gromadzenia, przez przetwarzanie, edytowanie, modyfikowanie, analizowanie, modelowanie i kończąc na generowaniu gotowej informacji. Nieco inaczej sytuacja wygląda w przypadku uczenia maszynowego, ponieważ umożliwia ono głównie przetwarzanie ogromnych zbiorów danych pod względem klasyfikacji i przewidywania. Oznacza to, że uczenie maszynowe pozwala określić podobieństwa i statystyczny związek między danymi oraz estymować wartości zmiennych dla obszaru, który nie został objęty pomiarem. Wszystko to składa się na pozyskanie informacji środowiskowych, od których zależy planowanie, prowadzenie i powodzenie procesu rekultywacji.

6. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonego studium literatury dostrzeżono, że:

- 1) W obliczu likwidacji kopalń i występujących w związku z tym procesów oddziałujących na elementy środowiska przyrodniczego, pojawia się potrzeba stałego i efektywnego monitoringu zachodzących zmian.
- 2) Przedstawione metody geomonitoringu mogą być skutecznym rozwiązaniem dla zapewnienia ciągłego i efektywnego monitorowania środowiska na obszarach pogórnich.
- 3) Znaczącą rolę w obserwacjach środowiska odgrywają zobrażenia satelitarne, które charakteryzują się zadowalającą rozdzielczością czasową i przestrzenną.
- 4) Monitoring obszarów pogórnich, polegający na dopełnieniu pomiarów terenowych metodami zdalnymi, zapewnia kompleksowe podejście do uzyskania szczegółowych informacji środowiskowych, które umożliwiają usprawnienie procesu zarządzania środowiskiem w trakcie likwidacji kopalń i rekultywacji.

Połączenie zdalnych technik pomiarowo-obserwacyjnych, pomiarów *in situ*, narzędzi GIS i uczenia maszynowego można wykorzystać do opracowania zintegrowanego systemu informacji środowiskowej. Taki system byłby pomocny w prowadzeniu obserwacji postępów rekultywacji i zarządzaniu tym procesem.

LITERATURA

ARE (2022): W 2021 udział mocy węglowych w krajowym miksie spadł do 58,5%. <https://www.are.waw.pl/o-are/aktualnosci/w-2021-udzial-mocy-weglowych-w-krajowym-miksie-spadl-do-58-5> (data dostępu: 13.04.2022).

Alam M. S., Kumar D., Chatterjee R. S. (2022): Improving the Capability of Integrated DInSAR and PSI Approach for Better Detection, Monitoring, and Analysis of Land Surface Deformation in Underground Mining Environment. *Geocarto International*, Vol. 37(12), 3607-3641.

Antwi E. K., Krawczynski R., Wiegand G. (2008). Detecting the Effect of Disturbance on Habitat Diversity and Land Cover Change in a Post-Mining Area Using GIS. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 87(1), 22-32.

Bainton N., Holcombe S. (2018): A Critical Review of the Social Aspects of Mine Closure. *Resources Policy*, Vol. 59, 468-478.



- Bąk J. (2021): Zarządzanie środowiskiem i zarządzanie środowiskowe. Kraków, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
- Bian Z., Lei S., Inyang H. I., Chang L., Zhang R., Zhou C., He X. (2009): Integrated Method of RS and GPR for Monitoring the Changes in the Soil Moisture and Groundwater Environment Due to Underground Coal Mining. *Environmental Geology*, Vol. 57(1), 131-142.
- Bindzarova Gergelova M., Labant S., Mizak J., Sustek P., Leicher L. (2021): Inventory of Locations of Old Mining Works Using LiDAR Data: A Case Study in Slovakia. *Sustainability*, Vol. 13(12), 6981.
- Blachowski J., Kopeć A., Milczarek W., Owczarz K. (2019): Evolution of Secondary Deformations Captured by Satellite Radar Interferometry: Case Study of an Abandoned Coal Basin in SW Poland. *Sustainability*, Vol. 11(3), 884.
- Blachowski J., Warchala E., Koźma J., Buczyńska A., Bugajska N., Becker M., Janicki D., Kujawa P., Kwaśny L., Wajs J., Targosz P., Wojdyła M. (2022): Geophysical Research of Secondary Deformations in the Post Mining Area of the Glaciotectionic Muskau Arch Geopark – Preliminary Results. *Applied Sciences*, Vol. 12(3), 1194.
- Buchori D., Rizali A., Rahayu G. A., Mansur I. (2018): Insect Diversity in Post-Mining Areas: Investigating Their Potential Role as Bioindicator of Reclamation Success. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, Vol. 19(5), 1696-1702.
- Buczyńska A. (2020). Remote Sensing and GIS Technologies in Land Reclamation and Landscape Planning Processes on Post-Mining Areas in the Polish and World Literature. *AIP Conference Proceedings*, Vol. 2209(1), 040002.
- Bui D., Long N., Bui X.-N., Nghia N., Chung P., Canh L., Thao N., Bui D., Kristoffersen B. (2017): Lightweight Unmanned Aerial Vehicle and Structure-from-Motion Photogrammetry for Generating Digital Surface Model for Open-Pit Coal Mine Area and Its Accuracy Assessment. W: D. Tien Bui, A. Ngoc Do, H. B. Bui, N. D. Hoang (Red.), *Advances and Applications in Geospatial Technology and Earth Resources. GTER 2017*. Cham, Springer.
- Bzowski Z. (2000): Monitoring środowiska narzędziem oceny rekultywacji zwałowisk odpadów górniczych. *Wiadomości Górnicze*, T. 51(9), 380-385.
- Cao X. (2007): Regulating Mine Land Reclamation in Developing Countries: The Case of China. *Land Use Policy*, Vol. 24(2), 472-483.
- Carabassa V., Montero P., Alcañiz J. M., Padró J.-C. (2021): Soil Erosion Monitoring in Quarry Restoration Using Drones. *Minerals*, Vol. 11(9), 949.
- Chane Kon L., Durucan S., Korre A. (2008): The Development and Application of a Wind Erosion Model for the Assessment of Fugitive Dust Emissions from Mine Tailings Dumps. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 21(3), 198-218.
- Chen L., Zhao C., Li B., He K., Ren C., Liu X., Liu D. (2021): Deformation Monitoring and Failure Mode Research of Mining-Induced Jianshanying Landslide in Karst Mountain Area, China with ALOS/PALSAR-2 images. *Landslides*, Vol. 18(8), 2739-2750.
- Cidu R., Biagini C., Fanfani L., La Ruffa G., Marras I. (2001): Mine Closure at Monteponi (Italy): Effect of the Cessation of Dewatering on the Quality of Shallow Groundwater. *Applied Geochemistry*, Vol. 16(5), 489-502.
- Dong L., Wang C., Tang Y., Tang F., Zhang H., Wang J., Duan W. (2021): Time Series InSAR Three-Dimensional Displacement Inversion Model of Coal Mining Areas Based on Symmetrical Features of Mining Subsidence. *Remote Sensing*, Vol. 13(11), 2143.
- Du S., Feng G., Wang J., Feng S., Malekian R., Li Z. (2019): A New Machine-Learning Prediction Model for Slope Deformation of an Open-Pit Mine: An Evaluation of Field Data. *Energies*, Vol. 12(7), 1288.
- Duda A. (2018): Identyfikacja zdarzeń środowiskowych związanych z procesem likwidacji kopalń na przykładzie zamykanych kopalń w wybranych krajach Unii Europejskiej. *Przegląd Górniczy*, T. 74(3), 7-14.
- European Space Agency (2022): Europe's Copernicus Programme. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Europe_s_Copernicus_programme (data dostępu: 9.04.2022).
- Evanek N., Slaker B., Iannacchione A., Miller T. (2021): LiDAR Mapping of Ground Damage in a Heading Re-Orientation Case Study. *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 31(1), 67-74.
- Gemitzi A., Dalampakis P., Falalakis G. (2021): Detecting Geothermal Anomalies Using Landsat 8 Thermal Infrared Remotely Sensed Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 96, 102283.
- Gholizadeh A., Saberioon M., Ben-Dor E., Borůvka L. (2018): Monitoring of Selected Soil Contaminants Using Proximal and Remote Sensing Techniques: Background, State-Of-The-Art and Future Perspectives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 48(3), 243-278.



- Głowacki T., Milczarek W. (2013): Surface Dformation of the Secondary Former Mining Areas. *Mining Science*, Vol. 20, 39-55.
- Gogolewska A. (2011): Analysis of Gas and Rock Outburst Hazard in Coal Deposit within Wałbrzych Coal Basin Using GIS Tools. *Mining Science*, Vol. 133(40), 49-73.
- Gong C., Lei S., Bian Z., Liu Y., Zhang Z., Cheng W. (2019): Analysis of the Development of an Erosion Gully in an Open-Pit Coal Mine Dump During a Winter Freeze-Thaw Cycle by Using Low-Cost UAVs. *Remote Sensing*, Vol. 11(11), 1356.
- Gruszecka A., Helios-Rybicka E. (2009): Pb, Tl i As w wodach, osadach i glebach w otoczeniu składowisk odpadów poflotacyjnych w rejonie Bukowna – Ocena ryzyka ekologicznego. *Geologia/Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*, T. 35(2/1), 233-242.
- Haigh M. J. (1995): Soil Quality Standards for Reclaimed Coal-Mine Disturbed Lands: A Discussion Paper. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 9(4), 187-202.
- Ilieva M., Rudziński Ł., Pawluszek-Filipiak K., Lizurek G., Kudłacik I., Tondaś D., Olszewska D. (2020): Combined Study of a Significant Mine Collapse Based on Seismological and Geodetic Data – 29 January 2019, Rudna Mine, Poland. *Remote Sensing*, Vol. 12(10), 1570.
- Jarosz J. (2009): Prawne i ekonomiczne aspekty procesu likwidacji kopalń węgla kamiennego w Polsce. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*, nr 75, 59-69.
- Kajzar V., Doležalová H., Sou K., Staš L. (2011): Aerial Photogrammetry Observation of the Subsidence Depression Near Karviná. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 8(3), 309-317.
- Karan S. K., Samadder S. R., Maiti S. K. (2016): Assessment of the Capability of Remote Sensing and GIS Techniques for Monitoring Reclamation Success in Coal Mine Degraded Lands. *Journal of Environmental Management*, Vol. 182, 272-283.
- Karmaker A. K., Rahman M., Hossain, A., i Ahmed R. (2020): Exploration and Corrective Measures of Greenhouse Gas Emission from Fossil Fuel Power Stations for Bangladesh. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 244, 118645.
- Khan A., Schaefer D., Tao L., Miller D. J., Sun K., Zondlo M. A., Harrison W. A., Roscoe B., Lary D. J. (2012): Low Power Greenhouse Gas Sensors for Unmanned Aerial Vehicles. *Remote Sensing*, Vol. 4(5), 1355-1368.
- Khosravi V., Ardejani F. D., Gholizadeh A., Saberioon M. (2021): Satellite Imagery for Monitoring and Mapping Soil Chromium Pollution in a Mine Waste Dump. *Remote Sensing*, Vol. 13(7), 1277.
- Kisan M. V., Khanindra P., Narayan T. K., Kumar T. S. (2015): Remote Sensing and GIS Based Assessment of Soil Erosion and Soil Loss Risk Around Hill Top Surface Mines Situated in Saranda Forest, Jharkhand. *Journal of Water and Climate Change*, Vol. 7(1), 68-82.
- Komunikat (2019): Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. COM(2019) 640 final.
- Kretschmann J. (2020). Post-Mining – A Holistic Approach. *Mining, Metallurgy and Exploration*, Vol. 37, 1401-1409.
- Kryniewska K., Magnuszewski A. (2020): Sentinel-2 nowe źródło danych w badaniach koryt rzecznych. *Gospodarka Wodna*, nr 7, 13-18.
- Liu P., Gao Y., Shang M., Yi X. (2020): Predicting Water Level Rises and Their Effects on Surrounding Karst Water in an Abandoned Mine in Shandong, China. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 79, 51.
- Liu Y., Zhi W., Xu B., Xu W., Wu W. (2021): Detecting High-Temperature Anomalies from Sentinel-2 MSI Images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 177, 174-193.
- Lobo F. L., Costa M. P. F., Novo E. M. L. M. (2015): Time-Series Analysis of Landsat-MSS/TM/OLI Images over Amazonian Waters Impacted by Gold Mining Activities. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 157, 170-184.
- Maiti S. K. (2012): *Ecorestoration of the Coalmine Degraded Lands*. New Delhi, Springer.
- Mi J., Yang Y., Hou H., Zhang S., Ding Z., Hua Y. (2022): Impacts of Ground Fissures on Soil Properties in an Underground Mining Area on the Loess Plateau, China. *Land*, Vol. 11(2), 162.
- Mi J., Yang Y., Zhang S., An S., Hou H., Hua Y., Chen F. (2019): Tracking the Land Use/Land Cover Change in an Area with Underground Mining and Reforestation via Continuous Landsat Classification. *Remote Sensing*, Vol. 11(14), 1719.



- Milczarek W. (2019): Application of a Small Baseline Subset Time Series Method with Atmospheric Correction in Monitoring Results of Mining Activity on Ground Surface and in Detecting Induced Seismic Events. *Remote Sensing*, Vol. 11(9), 1008.
- Nádudvari Á., Abramowicz A., Fabiańska M., Misz-Kennan M., Ciesielczuk J. (2021): Classification of Fires in Coal Waste Dumps Based on Landsat, Aster Thermal Bands and Thermal Camera in Polish and Ukrainian Mining Regions. *International Journal of Coal Science and Technology*, Vol. 8(3), 441-456.
- Nie L., Li Z., Zhang M., Xu L. (2015): Deformation Characteristics and Mechanism of the Landslide in West Open-Pit Mine, Fushun, China. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 8(7), 4457-4468.
- Orimoloye I., Ololade O. (2020): Spatial Evaluation of Land-Use Dynamics in Gold Mining Area Using Remote Sensing and GIS Technology. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 17, 4465-4480.
- Owczarz K., Blachowski J. (2020): Application of DInSAR and Spatial Statistics Methods in Analysis of Surface Displacements Caused by Induced Tremors. *Applied Sciences*, Vol. 10(21), 7660.
- Parwata I. N. S., Shimizu N., Grujić B., Zekan S., Čeliković R., Imamović E., Vrkljan I. (2020): Monitoring the Subsidence Induced by Salt Mining in Tuzla, Bosnia and Herzegovina by SBAS-DInSAR Method. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 53(11), 5155-5175.
- Pawlik M., Rudolph T., Benndorf J., Blachowski J. (2021): Review of Vegetation Indices for Studies of Post-Mining Processes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 942(1), 012034.
- Prosekov A. Y., Rada A. O., Kuznetsov A. D., Timofeev A. E., Osintseva M. A. (2022): Environmental Monitoring of Endogenous Fires Based on Thermal Imaging and 3D Mapping from an Unmanned Aerial Vehicle. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, Vol. 981(4), 042016.
- Razowska-Jaworek L. (2003): Wpływ likwidacji górnictwa na środowisko wodne na przykładzie regionu częstochowskiego i górnośląskiego. Państwowy Instytut Geologiczny. https://scholar.google.pl/citations?view_op=view_citation&hl=pl&user=eutt5RYAAAAJ&citation_for_view=eutt5RYAAAAJ:Se3iqnhoufwC (dostęp: 13.04.2022).
- Ren H., Zhao Y., Xiao W., Hu Z. (2019): A Review of UAV Monitoring in Mining Areas: Current Status and Future Perspectives. *International Journal of Coal Science and Technology*, Vol. 6(3), 320-333.
- Report (2021): Trends and Projections in Europe 2021, No 13/2021. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2021> (data dostęp: 13.04.2022).
- Rodell M., Chen J., Kato H., Famiglietti J. S., Nigro J., Wilson C. R. (2007): Estimating Groundwater Storage Changes in the Mississippi River Basin (USA) Using GRACE. *Hydrogeology Journal*, Vol. 15(1), 159-166.
- Rokni K., Ahmad A., Solaimani K., Hazini S. (2015): A New Approach for Surface Water Change Detection: Integration of Pixel Level Image Fusion and Image Classification Techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 34, 226-234.
- Sayab M., Aerden D., Paananen M., Saarela P. (2018): Virtual Structural Analysis of Jokisivu Open Pit Using 'Structure-from-Motion' Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Photogrammetry: Implications for Structurally-Controlled Gold Deposits in Southwest Finland. *Remote Sensing*, Vol. 10(8), 1296.
- Schneising O., Buchwitz M., Reuter M., Bovensmann H., Burrows J. P., Borsdorff T., Deutscher N. M., Feist D. G., Griffith D. W. T., Hase F., Hermans C., Iraci L. T., Kivi R., Landgraf J., Morino I., Notholt J., Petri C., Pollard D. F., Roche S., Shiomi K., Strong K., Sussmann R., Velasco V. A., Warneke T., Wunch D. (2019): A Scientific Algorithm to Simultaneously Retrieve Carbon Monoxide and Methane from TROPOMI Onboard Sentinel-5 Precursor. *Atmospheric Measurement Techniques*, Vol. 12(12), 6771-6802.
- Sesele K., Marais L., van Rooyen D. (2021): Women and Mine Closure: A Case Study of Policy in South Africa. *Resources Policy*, Vol. 72, 102059.
- Straková H., Řezníček J. (2013): Documentation of Dumps and Heaps by Use of UAV. W: *Proceeding of 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 1*(s. 151-158). Albena, Bulgaria.
- Suh J., Kim S.-M., Yi H., Choi Y. (2017): An Overview of GIS-Based Modeling and Assessment of Mining-Induced Hazards: Soil, Water, and Forest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 14(12), 1463.
- Szczerbowski Z. (2019): High-Energy Seismic Events in Legnica-Głogów Copper District in Light of ASG-EUPOS Data. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, Vol. 107, 25-40.
- Szczerbowski Z., Jura J. (2015): Mining Induced Seismic Events and Surface Deformations Monitored by GPS Permanent Stations. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 12(3), 237-248.



Szostak M., Knapik K., Likus-Cieslik J., Wezyk P., Pietrzykowski M. (2019): Monitorowanie zasięgu roślinności o charakterze leśnym w obszarach rekultywowanych z zastosowaniem zobrażeń satelitarnych Sentinel-2. *Sylwan*, Vol. 163(1), 55-61.

Tao T., Liu J., Qu X., Gao F. (2019): Real-Time Monitoring Rapid Ground Subsidence Using GNSS and Vondrak Filter. *Acta Geophysica*, Vol. 67, 133-140.

Ustawa (1991): Ustawa z dnia 20 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska. Dz. U. 1991 nr 77 poz. 335.

Vivoda V., Kemp D., Owen J. (2019): Regulating the Social Aspects of Mine Closure in Three Australian States. *Journal of Energy and Natural Resources Law*, Vol. 37(4), 405-424.

Wajs J., Trybala P., Górniak-Zimroz J., Krupa-Kurzynowska J., Kasza D. (2021): Modern Solution for Fast and Accurate Inventorization of Open-Pit Mines by the Active Remote Sensing Technique – Case Study of Mikoszków Granite Mine (Lower Silesia, SW Poland). *Energies*, Vol. 14(20), 6853.

Wang Z., Wang G., Ren T., Wang H., Xu Q., Zhang G. (2021): Assessment of Soil Fertility Degradation Affected by Mining Disturbance and Land Use in a Coalfield via Machine Learning. *Ecological Indicators*, Vol. 125, 107608.

Wasilewski S. (2020): Monitoring the Thermal And Gaseous Activity of Coal Waste Dumps. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 79, 474.

Wójcik J. (2020): *Antropogeniczne zmiany środowiska przyrodniczego Ziemi*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.

Xie X., Xu C., Wen Y., Li W. (2018): Monitoring Groundwater Storage Changes in the Loess Plateau Using GRACE Satellite Gravity Data, Hydrological Models and Coal Mining Data. *Remote Sensing*, Vol. 10(4), 605.

Yang L., Jiuyun S. (2011): Study of the Integrated Environmental Monitoring in Mining Area Based on Image Analysis. *Procedia Engineering*, Vol. 21, 267-272.

Yi Z., Liu M., Liu X., Wang Y., Wu L., Wang Z., Zhu L. (2021): Long-term Landsat Monitoring of Mining Subsidence Based on Spatiotemporal Variations in Soil Moisture: A Case Study of Shanxi Province, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 102, 102447.

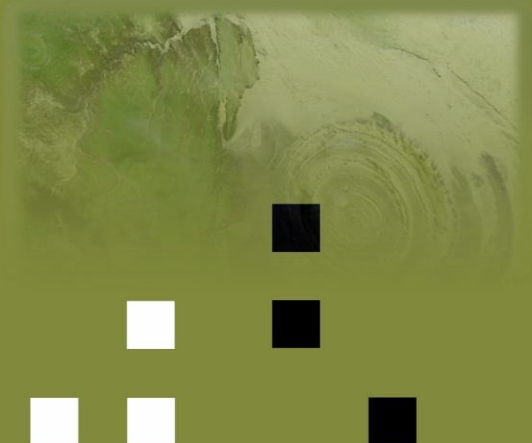
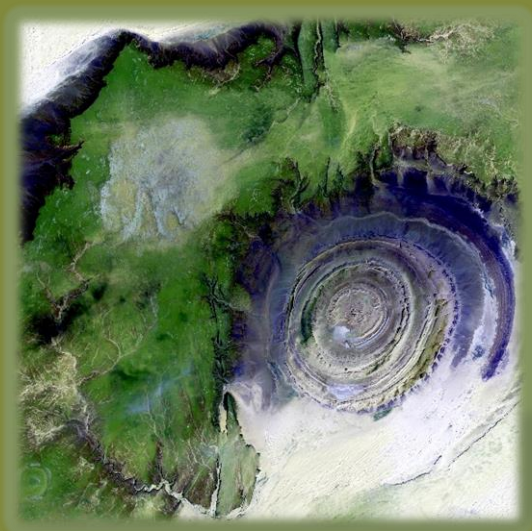
Yuan M., Li M., Liu H., Lv P., Li B., Zheng W. (2021): Subsidence Monitoring Base on SBAS-InSAR and Slope Stability Analysis Method for Damage Analysis in Mountainous Mining Subsidence Regions. *Remote Sensing*, Vol. 13(16), 3107.

Zawadzki J., Przeździecki K., Miatkowski Z. (2016): Determining the Area of Influence of Depression Cone in the Vicinity of Lignite Mine by Means of Triangle Method and LANDSAT TM/ETM + Satellite Images. *Journal of Environmental Management*, Vol. 166, 605-614.

Zheng J., Yao W., Lin X., Ma B., Bai L. (2022): An Accurate Digital Subsidence Model for Deformation Detection of Coal Mining Areas Using a UAV-Based LiDAR. *Remote Sensing*, Vol. 14(2), 421.

Adam Hamerla, Aleksandra Zgórska

Zastosowanie technologii UAV do opracowania bazy
danych o terenach poprzemysłowych (OPI-TPP 2.0),
jako narzędzia wspierającego proces transformacji
terenów pogórnich na terenie województwa
śląskiego





Adam Hamerla, Aleksandra Zgórska
Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód

Zastosowanie technologii UAV do opracowania bazy danych o terenach przemysłowych (OPI-TPP 2.0), jako narzędzia wspierającego proces transformacji terenów pogórnich na terenie województwa śląskiego

1. WPROWADZENIE

Rozwój państw UE w kierunku gospodarki zeroemisyjnej, wynikający z potrzeby poszukiwania źródeł energii alternatywnych dla tradycyjnych paliw kopalnianych, skutkuje zanikaniem tradycyjnych regionów przemysłowych. Trwający obecnie w Europie proces transformacji obejmuje w znacznym stopniu region Górnego Śląska (Polska), stanowiący jeden z największych w Europie regionów górniczych. Konsekwencje prowadzonych działań obserwowane są nie tylko w sferze społecznej, ekonomicznej i środowiskowej, ale także odczuwalne dla regionu w ujęciu przestrzennym z uwagi na powstawanie dużej liczby terenów przemysłowych. O skali problemu mówi fakt, że łączna powierzchnia gruntów zdegradowanych i zdewastowanych w Polsce wynosi około 3 463 374 ha (2017 r.), co w przeliczeniu na statystycznego mieszkańca kraju stanowi 16,3 m² powierzchni (GUS, 2017). W obrębie województwa śląskiego powierzchnia terenów zdegradowanych i zdewastowanych przekroczyła 11 300 ha, z czego ponad 6000 ha zlokalizowanych jest w centralnej części regionu. Według danych literaturowych tereny przemysłowe w województwie śląskim zajmują około 7000 ha (Gasidło, 2019). Badania realizowane na potrzeby związane z opracowaniem bazy danych o terenach przemysłowych (OPI-TPP 2.0) wykazały, że rzeczywista powierzchnia zajmowana przez tereny przemysłowe w regionie jest znacznie większa. Przywrócenie pierwotnej lub nadanie nowej – istotnej dla regionu funkcji terenom przemysłowym, wymaga wielu prac terenowych (prace remedacyjne, rekultywacyjne), które powinny zostać poprzedzone opracowaniem systemu organizacyjno-finansowanego umożliwiającego zarówno ocenę rentowności przedsięwzięcia, jak i wskazanie modeli oraz mechanizmów ich finansowania. Podstawą rozpoczęcia prac zmierzających do przywrócenia funkcji społeczno-gospodarczej terenom przemysłowym powinna być baza informacyjna zawierająca charakterystykę tych terenów. Brak dostępu do informacji o terenach przemysłowych jest widoczny w całej Europie (Polska, Belgia, Włochy itp.) i wymusza potrzebę opracowania bazy danych terenów zdegradowanych na poziomie krajowym, która będzie uwzględniała położenie geograficzne, status oraz sposób zagospodarowania terenu. Ekspertki podkreślają rolę publicznego dostępu do tych danych jako pierwszego kroku w rozwiązywaniu problemu rewitalizacji terenów przemysłowych i zdegra-



dowanych (Maes, Schadeck i Brahny, 2007; Ignjatić, Nikolić i Rikalović, 2017; Vujičić i in., 2017). Problem stanowi również niedostateczna wiedza o terenach zidentyfikowanych w obrębie regionów. Zarówno dla samorządów, jak i potencjalnych inwestorów, pozyskanie tzw. zero-jedynkowej informacji o występowaniu lub braku terenów poprzemysłowych jest niewystarczające. Z uwagi na zrównoważone zarządzanie przestrzenią miejską celowe jest opracowanie jednolitego systemu, w formie ogólnodostępnej bazy danych, w której będą gromadzone informacje o występujących w regionie terenach poprzemysłowych i ich pełna charakterystyka. Wiedza o tych terenach, oparta na wiarygodnych i aktualnych informacjach, umożliwia decydom i inwestorom podejmowanie decyzji o formie zagospodarowania terenu, z uwzględnieniem zrównoważonej gospodarki przestrzenią miejską i opłacalności inwestycji (Al-Sa'd i in., 2019; Tan i in., 2021). Na etapie charakterystyki terenu szczególnie ważną rolę odgrywa inwentaryzacja, która jest jedynym sposobem sprawdzenia aktualnego stanu terenów i porównania ich z informacjami uzyskanymi za pomocą metod tradycyjnych (ang. *desk research*). Możliwość przeprowadzenia szybkiej inwentaryzacji na terenach trudno dostępnych, do których z pewnością należą tereny poprzemysłowe (trudny dostęp ze względu na rzeźbę terenu i potencjalne zagrożenia dla badaczy oraz często wymagane pozwolenia na wjazd) zapewniają bezzałogowe statki powietrzne (ang. *unmanned aerial vehicle* – UAV) (Villarreal i in., 2021; Young, Rao i Dorey, 2021). Liczne publikacje pokazują możliwe sposoby wykorzystania dronów. Przykładowo małe UAV z powodzeniem zostały wykorzystane do śledzenia postępu i skali zniszczeń spowodowanych np. klęskami żywiołowymi (Fabbroni i in., 2016). Teledetekcja, oparta na danych pozyskanych z drona, dostarcza informacji m.in. o: ruchach mas ziemi i osuwiskach (modelowanie procesów, ocena ryzyka, detekcja, monitoring, ocena skutków itp.), ryzyku powodzi (ocena ryzyka powodzi, modelowanie, ocena skutków, inspekcja struktur ochronnych itp.), ryzyku wystąpienia trzęsienia ziemi (monitorowanie rekonstrukcji, mapowanie stref uskokowych, ocena wpływu i ryzyka itp.), aktywności wulkanów (mapowanie termiczne, analiza topograficzna, monitorowanie przepływu lawy itp.), a także umożliwia identyfikowanie ognisk pożarowych i monitorowanie rozwoju zapożarowania na danym terenie (Bartsch, Coyne i Gray, 2016; Gomez i Purdie, 2016; Antoine i in., 2020; Kucharczyk i Hugenholtz, 2021). Prasa branżowa dostarcza również informacji o możliwościach zastosowania technologii UAV w procesie inspekcji, mapowania i modelowania 3D w branży energetycznej (Carvajal-Ramírez, Agüera-Vega i Martínez-Carricondo, 2022), w rolnictwie (ocena: stanu pól, szybkości wzrostu upraw, efektywności stosowania nawozów itp.) oraz w budownictwie. Wykorzystanie techniki UAV w rolnictwie, przez monitorowanie wzrostu upraw, umożliwia zarządzanie procesem rozwoju roślin m.in. przez intensyfikację nasadzeń lub zwiększania częstotliwości oprysków. Dane zebrane z dronów rejestrujących pola, pomagają rolnikom w planowaniu



nasadzeń i zabiegów agrotechnicznych, zwiększając tym samym wydajność i efektywność pracy (Meivel i Maheswari, 2021). Dane przestrzenne o bardzo wysokiej rozdzielczości znalazły zastosowanie m.in. w monitoringu terenów podmokłych i zagrożonych podtopieniami (Furlan i in., 2021). Z racji poruszanej tematyki należy podkreślić rolę publikacji opisujących wykorzystanie technologii UAV w systemie administrowania gruntami (np. w Rwandzie i Kenii) (Flores i in., 2020; Tan i in., 2021). W prasie branżowej szeroko opisane są również systemy operacyjne i funkcjonujące platformy, komponenty UAV, rodzaj sensorów, typy czujników, regulacje przestrzeni powietrznej, a także prace związane z pozyskiwaniem danych przestrzennych i ich przetwarzaniem (Gomez i Purdie, 2016; Vujić i in., 2017; Giordan i in., 2018; Antoine i in., 2020; Giordani in., 2020; Svenström, Alonso-Fernandez i Englund, 2021).

Z uwagi na szeroki wachlarz możliwości zakres komercyjnego zastosowania dronów wciąż się zwiększa (Bartsch, Coyne i Gray, 2016). Zastosowanie techniki UAV, przez zdalne sterowanie urządzeniem, prowadzi do znacznego obniżenia kosztów pracy oraz zwiększa możliwości ich zastosowania w wielu gałęziach przemysłu (np. inżynieria, transport, górnictwo, sieci w kontekstach zarządzania, wykorzystanie w rolnictwie – skanowanie) (Merkert i Bushell, 2020). Dodatkowo możliwość monitorowania z wysokości dużych obiektów i obszarów, przy stosunkowo niskich kosztach eksploatacyjnych, poszerza zakres zastosowań, stwarzając nowe możliwości w zakresie pozyskiwania i analizy danych.

W rozdziale opisano zastosowanie techniki UAV w procesie identyfikacji terenów przemysłowych zlokalizowanych w obrębie województwa śląskiego, dla którego brak jest obecnie aktualnej, usystematyzowanej i upublicznionej bazy danych o tego typu terenach. Dotychczas funkcjonująca na terenie województwa baza danych o terenach przemysłowych, z racji dynamiki przekształceń, do których doszło w regionie, jest nieaktualna i posiada liczne braki. Rozproszenie informacji i dynamika zmian w obrębie terenów przemysłowych i ich bezpośredniego otoczenia, stanowią poważne bariery dla budowy bazy, utrudniające zarazem proces aktualizacji danych w niej zawartych, co poniekąd wpłynęło na problemy z funkcjonowaniem poprzedniej bazy danych. Problem stanowi również ilość terenów przemysłowych w regionie. Budowa systemu informacyjnego gromadzącego dane przestrzenne, w tym dane o dużej zmienności, stanowi ogromne wyzwanie z uwagi na konieczność zapewnienia aktualności systemu. Kwestia aktualności danych jest kluczowa, albowiem tylko rzetelny system może wspierać proces przywracania terenów do gospodarczego wykorzystania.

Na przykładzie rezultatów projektu OPI TPP 2.0 (Rozbudowa systemu zarządzania terenami pogórnictwymi na terenie województwa śląskiego) przedstawiono metodykę badawczą i zakres danych, które dla potrzeb związanych z opracowaniem bazy danych o terenach przemysłowych





wych, mogą być gromadzone z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych. Dane pozyskiwane za pomocą techniki UAV wraz z informacjami o terenach zgromadzonych metodą *desk research* (w tym m.in. infrastruktura powierzchniowa, obecna forma zagospodarowania, struktura własności itp.) umożliwiają identyfikację zachodzących na terenach negatywnych zjawisk oraz monitorowanie naturalnie zachodzących procesów. W rozdziale przedstawiono korzyści i ograniczenia wynikające ze stosowania dronów, ze wskazaniem przewagi techniki UAV oraz ich potencjał w zakresie monitorowania zmian w tych przestrzeniach w porównaniu z innymi metodami pozyskiwania danych terenowych. Oparto się na wynikach prac zrealizowanych w ramach projektu OPI TPP 2.0, które objęły inwentaryzację ponad 600 terenów poprzemysłowych.

2. OBSZAR BADAWCZY

2.1. Województwo śląskie

Obszar badawczy obejmował tereny poprzemysłowe zlokalizowane w obrębie całego województwa śląskiego. Analizowany obszar należy do jednego z najbardziej uprzemysłowionych regionów w Europie, a analizowane tereny zostały poddane silnej presji przemysłu (górnictwo, hutnictwo). W obrębie każdego miasta regionu od kilku lat zachodzą intensywne zmiany, obejmujące zarówno strukturę funkcjonalno-przestrzenną, jak i sferę gospodarczą. Dotychczasowa koncentracja przemysłu na tak niewielkim obszarze przyczyniła się do dewastacji środowiska naturalnego, czego efektem jest powstanie terenów poprzemysłowych, w obrębie których zlokalizowane są wysypiska śmieci, zapadliska oraz tereny pozostałe po nieczynnych zakładach. Tereny poprzemysłowe, które utraciły pierwotną funkcję, zajmują około 1% powierzchni województwa. Co szczególnie istotne nie obejmuje to terenów zdegradowanych, których powierzchnia jest znacznie większa i według danych literaturowych wynosi około 7 tys. ha (ok. 5,5% powierzchni regionu). Najwięcej terenów zdegradowanych zlokalizowanych jest w subregionie zachodnim (1686 ha – 12,5%) i centralnym województwa (4116 ha – 7,3%). Warto podkreślić, że znaczna część tych terenów znajduje się w miejscach atrakcyjnych biznesowo (Zagórska, 2008). Wstępna analiza danych wykazała, że niemal każde miasto województwa śląskiego posiada w swoich granicach tereny bezpośrednio lub pośrednio związane z działalnością przemysłową, wymagające rewitalizacji i nadania nowych funkcji użytkowych (społecznych, gospodarczych, środowiskowych itp.). Intensywny rozwój gospodarczy regionu zwiększa także zapotrzebowanie na tereny inwestycyjne dla celów usługowych, logistycznych czy mieszkaniowych. Tym samym dynamika przemian społeczno-gospodarczych wpływa bezpośrednio na przestrzeń miast poprzemysłowych. Na przestrzeni lat można zaobserwować intensywne przekształcenia tkanki miejskiej, obejmujące nie tylko poje-

dyncze obszary, ale nawet całe dzielnice miast, przekształcające się i nabierające nowych funkcji. Konieczność zagospodarowania terenów zdegradowanych stanowi wyzwanie w kontekście zarówno monitorowania zachodzących na nich zmian, jak i zarządzania nimi w trwającym procesie transformacji terenów górniczych. Odpowiedzią na to wyzwanie jest budowa systemu zarządzania terenami poprzemysłowymi, ze szczególnym uwzględnieniem terenów pogórnich. Podstawą informatycznego systemu zarządzania jest baza danych o terenach poprzemysłowych. Na rysunku 1 przedstawiono uproszczony schemat prac prowadzonych z wykorzystaniem dronów w celu aktualizacji/pozyskania wiarygodnych danych przestrzennych dla potrzeb związanych z budową bazy danych.



Rys. 1. Etapy inwentaryzacji terenów poprzemysłowych z wykorzystaniem techniki UAV w ramach budowy bazy danych o terenach poprzemysłowych

2.2. Tereny poprzemysłowe

Baza danych terenów poprzemysłowych województwa śląskiego obejmuje około 600 obiektów o łącznej powierzchni 9882 ha. Uwzględniając dotychczasową formę działalności, tereny te podzielono na dwie główne grupy: tereny pogórnice (pow. 5882 ha) i tereny, na których była prowadzona pozostała działalność przemysłowa (pow. 3966 ha). Obszary o mieszanej genezie zostały zakwalifikowane do jednej z grup na podstawie dominującej formy oddziaływania. Dalszy wewnętrzny podział terenów pogórnich związany jest z ich specyfiką i odmiennym sposobem



zagospodarowania. Znaczna część opisanych w bazie terenów poprzemysłowych znajduje się pod zarządem samorządów gminnych lub instytucji państwowych powołanych do zarządzania majątkiem pogórnictwem. Część z analizowanych terenów należy do prywatnych właścicieli. Dostęp do danych dotyczących terenów poprzemysłowych jest mocno ograniczony. Pierwsze próby inwentaryzacji rozpoczęły się w 2007 r., a pierwsza baza danych powstała w 2013 r. Początkowo gromadzenie danych było w znacznym stopniu ukierunkowane na identyfikację zagrożeń środowiskowych występujących na terenach poprzemysłowych, a w mniejszym stopniu na ocenę potencjału społeczno-gospodarczego tych terenów. Obecnie rozbudowywana baza danych o terenach poprzemysłowych zawiera także informacje o lokalizacji terenu, jego zagospodarowaniu, morfologii, infrastrukturze, dostępności terenu, a także informacje o zagrożeniach wynikających z prowadzonej w przeszłości na tym terenie działalności przemysłowej. Duża część zgromadzonych danych to informacje o zjawiskach o ograniczonej dynamice zmian.

Postępujący proces transformacji oznacza, że znaczna część terenów ulega przekształceniu, co powoduje zmiany w strukturze przestrzennej miast. Przybywają też nowe tereny poprzemysłowe, co jest związane z ograniczaniem roli przemysłu wydobywczego w gospodarce.

3. NARZĘDZIA I METODY BADAWCZE

Informacje potrzebne do opracowania bazy danych były pozyskiwane z wykorzystaniem następujących metod i technik badawczych: analiza *desk research*, wywiady z właścicielami i zarządcami gruntów, ankietyzacja, analiza materiałów archiwalnych i opracowań kartograficznych, bazy danych GIS oraz wizje terenowe. Dodatkowo, co opisano w niniejszym rozdziale, dane terenowe pozyskiwano z wykorzystaniem bezzalogowych statków powietrznych.

3.1. Narzędzia i techniki badawcze (technika UAV)

Do pozyskiwania danych techniką UAV został wykorzystany dron Phantom 4 RTK (*Real Time Kinetic*) firmy DJI. Do najważniejszych parametrów urządzenia, wskazanych przez producenta jako kluczowe elementy specyfikacji technicznej, wpływające na jakość i proces pozyskiwania danych, należą:

- dokładność mapowania zgodna ze standardami ASPRS (*Accuracy Standards for Digital Orthophotos Class III*);
- $H/36,5$ cm/piksel (H – wysokość samolotu w stosunku do miejsca fotografowania [m]);
- maksymalny obszar działania około 1 km² dla pojedynczego lotu (na wysokości 182 m, tj. GSD wynosi ok. 5 cm/piksel, zgodnie ze standardami ASPRS – *Accuracy Standards for Digital Orthophotos Class III*);





- dokładność pozycjonowania:
 - pionowa 1,5 cm + 1 ppm,
 - pozioma 1 cm + 1 ppm;
- środowisko pracy: powierzchnia odbijająca sygnał rozproszony, współczynnik odbicia > 8% (takie, jak ściany, drzewa, ludzie itp.);
- maksymalna odległość transmisji FCC: 4,3 mi (7 km);
- SRRC/CE/MIC/KCC: 3,1 mi (5 km);
- oprogramowanie DJI Terra Software.

Oprogramowanie DJI Terra Software pozwala na wykonanie modelu 3D, a także przeprowadzenie wstępnej klasyfikacji pokrycia terenu. Umożliwia także bezpośrednią analizę i generowanie danych do formatów, które mogą być wykorzystane do specjalistycznych analiz przeprowadzanych przy użyciu oprogramowania GIS.

3.2. Typ i źródło pozyskiwania danych

Główne kategorie informacji gromadzonych w bazie danych, ze wskazaniem źródeł ich pozyskania przedstawiono w tabeli 1. Należy podkreślić, że każdy teren opisany w bazie został scharakteryzowany za pomocą kilkunastu atrybutów (rekordów), z czego ponad połowę stanowią dane pozyskane przy użyciu dronów. Zakładany czas wykonania lotów dla obszaru o powierzchni 100 km² (powierzchnia wszystkich terenów przemysłowych w woj. śląskim) wynosi około 50 h, co istotne – czas ten nie uwzględnia procesu przygotowania i obróbki danych oraz dostępu do terenu w celu przeprowadzenia inwentaryzacji.

Tabela 1. Baza danych o terenach przemysłowych – główne typy i źródła danych

Nr	Typ danych	Źródło	Uwagi
1	Lokalizacja/adres	GIS*	określenie granic analizowanego obszaru na potrzeby przelotów dronów
2	Obszar	UAV	–
3	Wykorzystanie terenu	UAV	klasyfikacja według Corine Land Cover
4	Struktura własności i zarządzania	GIS/dane z JST	–
5	Podział na strefy w dokumentach planistycznych	GIS/dane JST	
6	Infrastruktura podziemna	dane archiwalne/wywiady	
7	Stan i kubatura budynków	UAV	
8	Wewnętrzny układ komunikacyjny	UAV	określenia rodzaju deponowanych odpadów – wizja terenowa
9	Odpady zdeponowane na terenie zakładu	UAV	
10	Strefy zagrożenia powodziowego	GIS	–
11	Identyfikacja stoków	UAV	

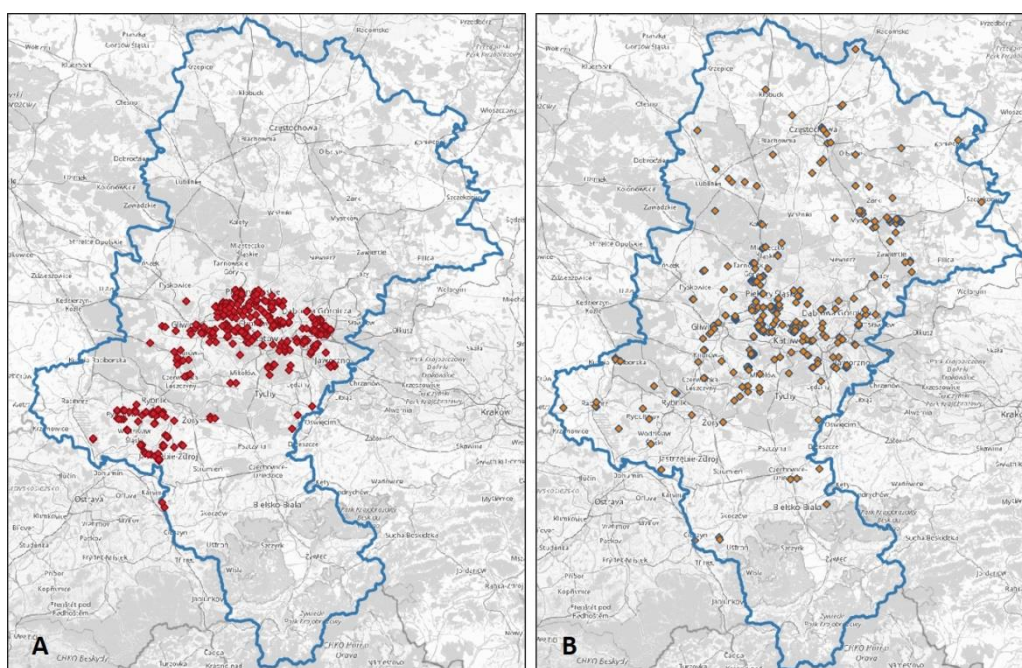
Nr	Typ danych	Źródło	Uwagi
12	Wstępna inwentaryzacja zieleni	UAV	określenia składu gatunkowego roślinności – wizja terenowa
13	Zanieczyszczenie gleby	badania terenowe/dane archiwalne	—
14	Punkty dostępu do terenu	UAV	
15	Miejsca aktywne termicznie (palące się haldy)	termowizja	
16	Zagospodarowanie terenu w sąsiedztwie	UAV	
17	Wydane decyzje administracyjne	dane z JST**	
18	Statystyki społeczno-gospodarcze	dane GUS***	

* GIS – otwarte systemy informacji geograficznej, ** JST – jednostki samorządów terytorialnych; urzędy miejskie; urzędy gminne; starostwa powiatowe, *** GUS – Główny Urząd Statystyczny

4. BAZA OPI TPP 2.0

4.1. Dane ilościowe

Baza terenów przemysłowych zawiera charakterystykę ponad 600 takich terenów zlokalizowanych w obrębie województwa śląskiego, w tym w granicach administracyjnych takich miast, jak: Ruda Śląska, Bytom, Zabrze, Siemianowice Śląskie, Katowice, Tychy, Łędziny, Rybnik. Lokalizację terenów pokopalnianych i przemysłowych wprowadzonych do bazy OPI TPP 2.0 przedstawiono na rysunku 2. Brak narzędzi do ciągłego monitorowania zmian zachodzących na tych terenach znacznie utrudnia zarządzanie nimi. Wykorzystanie UAV umożliwia bieżącą aktualizację danych, co jest szczególnie istotne dla zarządców miast z dużym odsetkiem terenów przemysłowych.



Rys. 2. Lokalizacja terenów pokopalnianych (A) i przemysłowych (B) znajdujących się w bazie OPI TPP 2.0



Loty dronów prowadzono nad terenami, których powierzchnia w większości przekraczała 0,01 km². Taka powierzchnia obszaru poddawanego inspekcji dronem w ramach projektu jest zgodna z danymi literaturowymi, które wskazują, że średnia wielkość powierzchni, dla której stosowano technikę UAV, wynosiła mniej niż 1 km² (Cracknell, 2017; Kucharczyk i Hugenholtz, 2021). Jak już wspomniano, tereny zamieszczane w bazie zostały podzielone na dwie główne grupy (kategorie): tereny pogórnice oraz tereny dotknięte inną działalnością przemysłową. Dla potrzeb związanych z opracowaniem bazy, jak również dla ujednolicenia informacji, w toku prac dokonano dalszej kategoryzacji terenów na trzy podgrupy: osadniki, hałdy oraz tereny poprzemysłowe (z elementami infrastruktury technicznej lub ich brakiem). Podstawą klasyfikacji były informacje dotyczące przeszłej (lub obecnej) formy użytkowania terenu.

4.2. Dane jakościowe

Prace związane z pozyskiwaniem danych o terenach poprzemysłowych były realizowane dwutorowo: (1) na podstawie inspekcji terenowej wspartej przelotami dronów oraz (2) na podstawie pogłębionej analizy materiałów archiwalnych i danych literaturowych (*desk research*). Dla każdego terenu poprzemysłowego wprowadzonego do bazy w większości przypadków zebrano informacje dotyczące lokalizacji, przeszłej i obecnej formy zagospodarowania oraz czynników decydujących o jego potencjale inwestycyjnym. Dane szczegółowe obejmowały następujące informacje: lokalizacja (dzielnica, miasto, ulica, nr obiektu itp.), współrzędne geograficzne, geneza terenu (przeszła i obecna forma użytkowania terenu), pokrycie terenu (stopień zazielenienia, rodzaj pokrycia roślinnością, obecność roślinności inwazyjnej itp.), stan prawny, ukształtowanie terenu, dostęp do dróg publicznych, obecność dróg wewnętrznych/ścieżek, odległość od terenów przemysłowych, centrów miast, infrastruktury transportowej (lotniska, centra przesiadkowe, centra dystrybucyjne, stacje kolejowe itp.), odległość od terenów zamieszkałych, obiektów kulturalnych, obiektów i obszarów cennych przyrodniczo, obiektów i obszarów objętych nadzorem konserwatorskim, obecność elementów infrastruktury (wraz z oceną jej stanu i potencjalnego zagrożenia), występowanie dzikich wysypisk, obecność roślin inwazyjnych, dostęp terenu do sieci: energetycznych, wodno-kanalizacyjnych, gazowych, ciepłowniczych, telekomunikacyjnych itp. Docelowo dane pozyskane dla każdego terenu poprzemysłowego posłużą do oceny ich potencjału inwestycyjnego oraz możliwości ich wykorzystania w obszarze usług ekosystemowych. Dane uzyskane z lotów dronem posłużyły dodatkowo do opracowania modelu 3D terenu.





4.3. Analiza z wykorzystaniem techniki UAV a inspekcja terenowa

W przypadku opracowywania bazy danych, sukces przedsięwzięcia uwarunkowany jest głównie możliwością i efektywnością zbierania danych, które mają się w niej znaleźć. Poniżej przedstawiono zalety pozyskiwania danych z wykorzystaniem techniki UAV w porównaniu do tradycyjnej inspekcji terenowej. Zastosowanie drona wraz z oprogramowaniem pozwala przede wszystkim na skrócenie czasu pozyskiwania i przetwarzania danych, maksymalizując tym samym efektywność pracy. W tradycyjnej wizji terenowej sporządzenie charakterystyki terenu na podstawie jedynie badań terenowych i ogólnodostępnych materiałów kartograficznych, ogranicza skuteczność uzyskania danych dotyczących np. zagospodarowania terenu, kubatury budynków czy powierzchni zanieczyszczonych. Rzetelny opis rzeźby terenu czy odwzorowanie układów komunikacyjnych bez prac geodezyjnych jest niemożliwe. Częstym problemem jest także brak dostępu lub utrudniony dostęp do gruntów oraz informacji o formie zagospodarowania terenów. W takich sytuacjach oparcie się jedynie na danych zamieszczonych w ogólnodostępnych systemach GIS i materiałach kartograficznych powoduje, że brak jest aktualnych, a tym samym rzetelnych danych. Jest to szczególnie ważne dla obszarów będących w trakcie transformacji, kiedy jest duża dynamika zmian. Trudności ze zgromadzeniem danych wzrastają wraz z wielkością powierzchni terenu i złożonością zagospodarowania oraz zróżnicowaniem jego rzeźby. Co warto podkreślić, do co najmniej 25% obiektów (terenów) zidentyfikowanych w bazie danych dostęp był znacznie ograniczony. Częściowo bariery te wynikały z przeszkód technicznych (ploty, ogrodzenia itp.) czy ograniczeń wprowadzonych przez właścicieli/zarządców terenu. Znaczna część zidentyfikowanych terenów znajduje się także na obszarach zalewowych, silnie zanieczyszczonych, o znacznych spadkach lub ograniczonych cechami przestrzennymi, takimi jak linie kolejowe czy rzeki. O ile wyżej wymienione elementy stanowią utrudnienie w przypadku przeprowadzania klasycznej wizji terenowej, o tyle żaden z tych elementów nie stanowi istotnej przeszkody w zbieraniu danych z wykorzystaniem dronów. Jedną z największych zalet stosowania techniki UAV jest możliwość okresowego powtarzania lotów, umożliwiającą monitorowanie zmian zachodzących na analizowanych terenach. Dzięki temu proces aktualizacji jest bardziej efektywny i mniej subiektywny. Jednym z ograniczeń zastosowania techniki UAV jest konieczność posiadania wykwalifikowanego personelu do obsługi urządzenia. Loty są uzależnione od warunków pogodowych i pory dnia, czynniki te mają wpływ na prowadzenie klasycznych wizji terenowych. Istotnymi czynnikami ograniczającymi możliwość stosowania dronów są tereny wyłączone lub mocno ograniczone dla ruchu UAV. Dotyczy to m.in. stref wokół lotnisk i obiektów strategicznych. W przypadku zbierania danych do bazy terenów przemysłowych sytuacje te występowały bardzo rzadko.



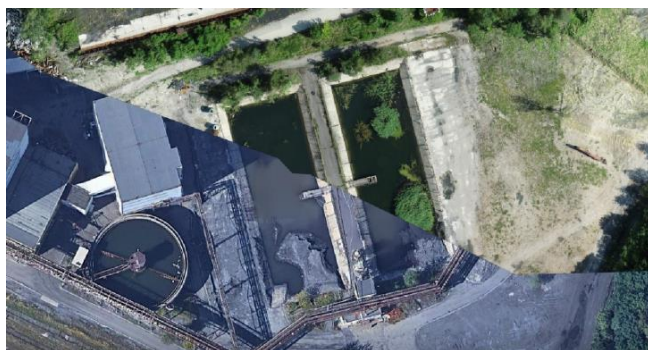


W przypadku danych zbieranych z terenu, ograniczenia dotyczą przede wszystkim identyfikacji obiektów pod gęstym zadaszeniem drzew, takich jak przesłonięta infrastruktura czy sterty odpadów. Problematyczne jest również zbieranie danych w rejonie wysokich obiektów, takich jak kominy czy wieże szybowe. Ocena składu gatunkowego roślin lub identyfikacja roślin inwazyjnych jest możliwa, wymaga jednak wykonania dodatkowych zdjęć z odpowiednim przybliżeniem.

4.4. Porównanie danych z ogólnodostępnych geoportali z danymi pozyskiwanymi za pomocą drona

Szczególną formą pozyskiwania i prezentowania danych jest fotografia. Ta forma przekazu, z uwagi na szybki odbiór, stanowi cenny element bazy danych. O ile inspekcja dronem jest powszechnie wykorzystywana w przemyśle lub do monitorowania stanu środowiska (smog, emisja, lokalizowanie nielegalnych wysypisk, monitorowanie tras komunikacyjnych), o tyle dane w formie zdjęć i filmów z powodzeniem mogą być wykorzystywane w procesie wspomagania podejmowania decyzji o wyborze możliwej formy zagospodarowania terenu. Możliwość wizualizacji wyników inspekcji dronem jest szczególnie istotna z punktu widzenia oceny stanu i skali rzeczywistych zmian, jakie zaszły na terenie w ciągu ostatnich kilku lat. Brak dostępnych aktualnych danych i zobrazowań jest istotny, zwłaszcza w przypadku miast i obszarów intensywnie przechodzących proces transformacji. Obecnie, z uwagi na likwidację dużych zakładów przemysłowych na terenie województwa śląskiego, kilkanaście terenów jest w trakcie przekształceń obejmujących zarówno zmianę rzeźby terenu (likwidacja zaplecza technicznego i infrastruktury technicznej), jak i dotychczasowej formy zagospodarowania. Zastosowanie UAV umożliwia praktycznie bezkosztowe monitorowanie tych procesów. Rolę inspekcji terenowej, która powinna być przeprowadzana dla każdego obiektu, podkreśla fakt, że często informacje zawarte w ogólnodostępnych geoportalach nie odzwierciedlają rzeczywistego stanu terenu. Jako przykład przedstawiono ortofotomapę (fot. 1) uzyskaną z komercyjnego portalu informacji przestrzennej w porównaniu z obrazem uzyskanym podczas lotu dronem (fot. 2). Według danych z geoportalu na miejscu zdarzenia występują elementy infrastruktury technicznej, których w rzeczywistości już nie ma.





Fot. 1. Przykłady obrazów uzyskanych dla terenów przemysłowych podczas analizy danych: obraz uzyskany z dostępnego portalu geolokalizacyjnego (googlemaps.pl) vs. obraz uzyskany techniką UAV (Boże Dary Mine, Katowice, Poland, 2021) (Będzin, Polska)



Fot. 2. Przykłady obiektów infrastruktury technicznej występujących na terenach przemysłowych

4.5. Model 3D terenu

Fotogrametria dronem pozwala na wykorzystanie wykonanych zdjęć do generowania szczegółowych modeli 3D i dokonywania pomiarów obiektów fizycznych i nieruchomości. W oparciu o model 3D terenu, sporządzony na podstawie danych uzyskanych za pomocą drona, można zidentyfikować wszelkiego rodzaju nierówności terenu, w tym: klify, zapadliska, wykopy, wzniesienia itp., zmierzyć topografię (obszary nisko położone, szczyty), a także zidentyfikować infrastrukturę techniczną i inne elementy terenu, istotne z punktu widzenia przyszłego zagospodarowania terenu. Należy podkreślić, że możliwość opracowania modelu 3D terenu, który może zostać zaprezentowany potencjalnemu inwestorowi, stanowi niekwestionowaną zaletę techniki UAV. Na rysunku 3 przedstawiono przykład modelu 3D terenu, opracowany na podstawie danych zebranych przez drona.





Rys. 3. Przykład modelu 3D terenu poprzemysłowego opracowanego na podstawie danych zebranych przez UAV (zlikwidowana kopalnia Wirek w Rudzie Śląskiej, 2021 r.)

5. WNIOSKI

Ocena problemu, jaki w województwie śląskim stanowią tereny poprzemysłowe wykazała, że obecność tych terenów zakłóca ciągłość funkcjonalno-przestrzenną regionu, a ze względu na znaczną dewastację i degradację gruntów oraz obecność różnego rodzaju odpadów, stanowią one ogromny problem środowiskowy i społeczno-gospodarczy. Należy jednak podkreślić, że dobre skomunikowanie tych terenów, usytuowanych często w pobliżu centrów miast, czyni je niezwykle cennymi pod względem inwestycyjnym. Istnieje więc potrzeba opracowania nowych, oficjalnych i przyjaznych inwestorom narzędzi zarządzania terenami poprzemysłowymi, wspierających system decyzyjny. Prace prowadzone w ramach projektu OPI-TPP 2.0 dowodzą, że niezwykle cennym takim narzędziem może być system informacyjny (baza danych), który zawierałby informacje o wszystkich terenach poprzemysłowych w regionie wraz z ich pełną charakterystyką. Niemniej jednak, ze względu na dynamiczne zmiany zachodzące w obszarze zagospodarowania przestrzennego, kluczowe jest, aby system został opracowany w sposób umożliwiający szybką, taną i łatwą aktualizację zawartych w nim danych. Możliwość szybkiego rozpoznania skali i zakresu zmian, do których doszło na analizowanym terenie, od momentu ostatniej inwentaryzacji, daje technika UAV.

Pokazano możliwości zastosowania technologii UAV do pozyskiwania danych na terenach poprzemysłowych (analiza ponad 600 terenów w ramach projektu OPI TPP 2.0). Przeprowadzone badania dowiodły, że przy niższych kosztach wykorzystania dronów, a jednocześnie szerokim



zakresie badania terenu, jakie posiadają, mogą one pozyskiwać istotne dane. Stosowanie dronów umożliwia docelowym administratorom baz danych (np. urzędnikom, przedsiębiorcom) wykorzystanie nowych możliwości, jakie oferuje technologia UAV wraz z oprogramowaniem (wizualizacja danych, modele 3D itp.).

Technologia UAV może odegrać istotną rolę zarówno na etapie identyfikacji, jak i inwentaryzacji terenów przemysłowych, a także w fazie monitorowania prac związanych z ich dalszym zagospodarowaniem (drony umożliwiają np. monitorowanie wpływu i postępu rekultywacji terenu, rozbiórki lub poszczególnych etapów prac budowlanych z lotu ptaka, stanowiącego uzupełnienie typowego widoku z poziomu gruntu).

Podziękowania

Projekt realizowany w ramach współpracy Głównego Instytutu Górnictwa z Urzędem Marszałkowskim Województwa Śląskiego. Projekt współfinansowany w ramach EFRR RPO WSL 2014–2020.

LITERATURA

Al-Sa'd M. F., Al-Ali A., Mohamed A., Khattab T., Erbad A. (2019): RF-Based Drone Detection and Identification Using Deep Learning Approaches: An Initiative Toward a Large Open Source Drone Database. *Future Generation Computer System*, Vol. 100, 86-97.

Antoine R., Lopez T., Tanguy M., Lissak C., Gailler L., Labazuy P., Fauchard C. (2020): Geoscientists in the Sky: Unmanned Aerial Vehicles Responding to Geohazards. *Surveys in Geophysics*, Vol. 41, 1285-1321.

Bartsch R., Coyne J., Gray K. (2016): *Drones in Society – Exploring the Strange New World of Unmanned Aircraft*. London, Routledge.

Carvajal-Ramirez F., Agüera-Vega F., Martínez-Carricondo P. (2022): *UAV Photogrammetry and Remote Sensing: Remote Sensing*. Basel, MDPI.

Cracknell A. P. (2017): UAVs: Regulations and Law Enforcement. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 38, 3054-3067.

Fabbroni V., Soesilo D., Meler P., Lessard-Fontaine A. (2016): *Drones in Humanitarian Action: A Guide to the Use of Airborne Systems In Humanitarian Crises*. Geneva, Swiss Foundation for Mine Action. <https://reliefweb.int/report/world/drones-humanitarian-action-guide-use-airborne-systems-humanitarian-crises> (dostęp: 10.02.2021).

Flores C. C., Tan E., Buntinx I., Crompvoets J., Stocker C., Zevenbergen J. (2020). Governance Assessment of the UAVs Implementation in Rwanda under the Fit-For-Purpose Land Administration Approach. *Land Use Policy*, Vol. 99, 104725.

Furlan L. M., Moreira C. A., de Alencar P. G., Rosolen V. (2021): Environmental Monitoring and Hydrological Simulations of Natural Wetland Based on High-Resolution Unmanned Aerial Vehicle Data (Paulista Peripheral Depression, Brazil). *Environmental Challenges*, Vol. 4, 100146.

Gasidło K. (2019): Możliwości wykorzystania terenów przemysłowych do łagodzenia skutków zmian klimatu. *Forum przestrzeni woj. śląskiego*, Katowice, 16.12.2019.

Giordan D., Adams M. S., Aicardi I., Alicandro M., Allasia P., Baldo M., De Berardinis P., Dominici D., Godone D., Hobbs P., Lechner V., Niedzielski T., Piras M., Rotilio M., Salvini R., Segor V., Sotier B., Troilo F. (2020): The Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Engineering Geology Applications. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 79, 3437-3481.

Giordan D., Hayakawa Y. S., Nex F., Remondino F., Tarolli P. (2018): Review Article: The Use of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPASs) for Natural Hazards Monitoring and Management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 18, 1079-1096.



Gomez C., Purdie H. (2016): UAV-Based Photogrammetry and Geocomputing for Hazards and Disaster Risk Monitoring – A Review. *Geoenvironmental Disasters*, Vol. 3, 23.

GUS (2017): *Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej*. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.

Ignjatić J., Nikolić B., Rikalović A. (2017): Trends and Challenges in Brownfield Revitalization: A GIS Based Approach. W: *Proceedings of the XVII International Scientific Conference on Industrial Systems*, 4–6 October 2017, Novi Sad, Serbia (s. 232-237). Novi Sad, University of Novi Sad.

Kucharczyk M., Hugenholtz C. H. (2021): Remote Sensing of Natural Hazard-Related Disasters with small Drones: Global Trends, Biases, and Research Opportunities. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 264, 112577.

Maes E., Schadeck S., Brahy V. (2007): La contamination locale des sols. W: *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006–2007*. Dgrne, Ministère de la Région wallonne.

Meivel S., Maheswari S. (2021): Remote Sensing Analysis of Agricultural Drone. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Vol. 49, 689-701.

Merkert R., Bushell J. (2020): Mananing the Drone Revolution: A Systemtic Literature Review into the Current Use of Airborne Drones and Future Strategic Directions for Their Effective Control. *Journal of Air Transport Management*, Vol. 89, 101929.

Svenström F., Alonso-Fernandez F., Englund C. (2021): A Database for Multi-Sensor Drone Detection. *Data in Brief*, Vol. 39, 107521.

Tan E., Pattyn V., Flores C. C., Cromptvoers J. (2021): A Capacity Assessment Framework for the Fit-For Purpose Land Administration System: The Use of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Rwanda and Kenya. *Land Use Policy*, Vol. 102, 105244.

Villarreal C. A., Garzón C. G., Mora J. P., Rojas J. D., Ríos C. A. (2022): Workflow for Capturing Information and Characterizing Difficult-To-Access Geological Outcrops Using Unmanned Aeria Vehicles-Based Digital Photogrammetric Data. *Journal of Industrial Information Integration*, Vol. 26, 100292.

Vujičić T., Simonović D., Đukić A., Šestić M. (2017): Browninfo Methodology and Software for Development of Interactive Brownfield Databases. W: M. Hadžikadić, S. Avdaković (Red.), *Advanced Technologies, Systems, and Applications II: Proceedings of the International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies (IAT)*. Cham, Springer.

Young S. S., Rao S., Dorey K. (2021): Monitoring the Erosion and Accretion of a Human-Built Living Shoreline with Drone Technology. *Environmental Challenges*, Vol. 5, 100383.

Zagórska E. (2008): Działania podejmowane w województwie śląskim w dziedzinie rewitalizacji terenów poprzemysłowych. W: J. Gorgoń (Red.), *Krajobraz zbudowany na węglu* (s. 67-76). Katowice, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowych.

Aleksandra Zgórska, Adam Hamerla

Ocena możliwości wykorzystania zbiorników wodnych powstałych na terenach przemysłowych w obszarze usług ekosystemowych





Aleksandra Zgórska, Adam Hamerla
Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód

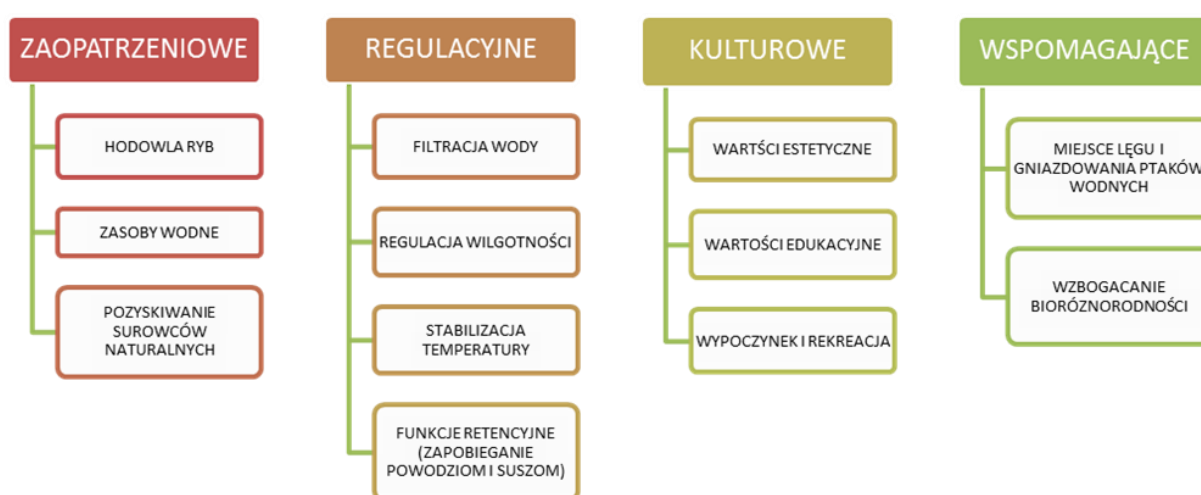
Ocena możliwości wykorzystania zbiorników wodnych powstałych na terenach przemysłowych w obszarze usług ekosystemowych

1. WPROWADZENIE

Województwo śląskie jest regionem silnie zurbanizowanym i uprzemysłowionym. Prowadzona od drugiej połowy XVIII w. intensywna eksploatacja węgla kamiennego, rud cynku i ołowiu oraz rozwój przemysłu hutniczego i koksowniczego, odcisnęły swoje piętno na środowisku naturalnym, niejednokrotnie doprowadzając do zmian ukształtowania terenu, zubożenia, a nawet degradacji całych ekosystemów. Mimo likwidacji w ostatnich kilkudziesięciu latach licznych zakładów przemysłowych, skutki ich działalności są widoczne do dnia dzisiejszego. Jedną z pozostałości prowadzonej w regionie eksploatacji górniczej są zbiorniki wodne powstałe w nieckach osiadania i zapadliskach. Zbiorniki te powstały na skutek osiadania i zapadania warstw górotworu ponad pustką poeksploatacyjną (Machowski, 2003; Kaszowska, 2007). Niecki osiadania mają na ogół kształt kulisty lub eliptyczny oraz większą powierzchnię w porównaniu do powierzchni wyeksploatowanego pokładu. Zbocza niecek są stosunkowo łagodne, a ich dna w znacznej części są płaskie i charakteryzują się niewielkimi spadkami. Zasięg zagłębień jest zależny od głębokości wydobywania węgla, a szybkość i przebieg ich powstawania – od czynników geologiczno-górnich. Powiększanie się niecek osiadania ustaje po kilku miesiącach, do kilku lat po zakończeniu eksploatacji (Machowski, 2010; Głowacki i Milczarek, 2013;). Na terenie województwa śląskiego największe nagromadzenie zbiorników wodnych w nieckach osiadania i zapadliskach występuje w centralnej części, w obszarze której dochodzi do największego osiadania terenu rzędu 5 m, choć obserwowane są również spadki terenu od 30 do 35 m (Machowski, 2003). Istniejące zbiorniki (ich kształt i powierzchnia) ulegają przekształceniom do momentu ustabilizowania się górotworu, które może nastąpić zarówno w okresie eksploatacji, jak i po kilkudziesięciu latach od jej zakończenia. Zbiorniki te pełnią często wymuszone lub samoczynne funkcje retencyjne, lub też docelowe miejsca zrzutu wód z systemów odwadniania. Niemniej jednak, z uwagi na problemy z ich zagospodarowaniem, wynikające z postępującej deformacji, a także niewielkiej powierzchni i pojemności, w większości traktowane są jako nieużytki. Stanowią więc swoiste magazyny wód o niskiej jakości, w których w okresie letnim często dochodzi do zakwitów i eutrofizacji (Rzętała, 2000; Machowski, 2003; Machowski, 2010). Niemniej jednak warto zwrócić uwagę na fakt, że zbiorniki te często asymilują się z otoczeniem, stając się z biegiem lat siedliskiem nowych

ekosystemów wodnych i lądowych (np. ostoje dla ptactwa), wpływając na wzrost bioróżnorodności terenu. W pierwszej fazie kształtowania nowych ekosystemów następuje wzrost roślin wodno-lądowych – sukcesja gatunków roślin pionierskich. W sprzyjających warunkach środowiskowych – odpowiedni stan fizykochemiczny wód zbiornika, docelowo może on stać się nawet miejscem bytowania i rozrodu zwierząt. Dotychczas niewiele prac zostało poświęconych ocenie stanu wód zgromadzonych w tych zbiornikach, przeprowadzono więc badania mające na celu ocenę stanu wybranych zbiorników wodnych zlokalizowanych na terenie województwa śląskiego w aspekcie usług ekosystemowych. Usługi te rozumiane są jako wytwory i funkcje ekosystemów, które mogą być wykorzystywane przez społeczeństwo (Solon, 2008).

Wykorzystanie potencjału w zakresie usług ekosystemowych, jaki posiadają zbiorniki zlokalizowane na terenach silnie zurbanizowanych, ściśle koreluje z założeniami i kierunkami zrównoważonego rozwoju miast, którego podstawą jest właściwe gospodarowanie i kształtowanie relacji między wzrostem gospodarczym, dbałością o środowisko naturalne, a jakością życia (Sudra, 2015). Proces zrównoważonego rozwoju miast, oparty na wykorzystaniu usług ekosystemowych, będzie prowadzony w taki sposób, aby, zapewniając rozwój gospodarczy i społeczny regionu, zapewniał on także zachowanie, tworzenie i wzmacnianie zasobów naturalnych, a także utrzymanie wartości środowiskowych. Tym samym usługi ekosystemowe są czynnikiem wspomagającym realizację zrównoważonego rozwoju, który prowadzi do poprawy środowiska życia mieszkańców i zapewnia rozkwit miasta (Sudra, 2015). Zbiorniki wodne wraz z najbliższym otoczeniem tworzą różnorodne i bogate ekosystemy, z którymi wiąże się szeroki wachlarz usług ekosystemowych (rys. 1).



Rys. 1. Kierunki wykorzystania zbiorników wodnych w obszarze usług ekosystemowych



Z uwagi na specyfikę regionu, większość zbiorników wodnych występujących w obszarze województwa, znalazła zastosowanie w obszarze usług zaopatrzeniowych (magazynowanie wody na cele przemysłowe), w gospodarce komunalnej oraz w rolnictwie. Z kolei zbiorniki, które powstały w nieckach osiadania, wypełnione wodą o stosunkowo dobrej jakości, często zarybiano i pełnią one obecnie funkcję stawów hodowlanych oraz są miejscem rekreacji dla wędkarzy.

Zbiorniki wodne pierwotnie wykorzystywane jako osadniki odpadów pogórnich i po hutniczych mogą także stanowić cenne źródło metali (cynk, ołów itp.). Dodatkowo, obok wykorzystania zbiorników w celach retencyjnych i regulacyjnych (stabilizacja lokalnego klimatu), coraz częściej brana jest pod uwagę ich funkcja kulturowa (wypoczynek i rekreacja), szczególnie istotna z uwagi na duże zaludnienie obszaru województwa śląskiego i związane z tym wzrastające potrzeby społeczne.

Mając na względzie powyższe, dokonano oceny stanu ekotoksykologicznego wód wybranych zbiorników wodnych powstałych na terenie województwa śląskiego wskutek prowadzonej działalności przemysłowej, pod względem ich dalszego zagospodarowania.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. Charakterystyka miejsca pobierania próbek

Badany materiał stanowiły próbki wody pobranej z czterech zbiorników wodnych powstałych w nieckach osiadania w efekcie działalności górniczej prowadzonej na terenie województwa śląskiego. W celu określenia sezonowej zmienności parametrów fizykochemicznych wody w zbiornikach, próbki do badań zostały pobrane dwukrotnie, w trakcie tzw. kampanii zimowej (styczeń) oraz letniej (lipiec). Z czterech badanych zbiorników trzy (Z1, Z2, Z3) zlokalizowane są na granicy miast Ruda Śląska i Świętochłowice, na obszarze sąsiadującym od strony południowo-wschodniej z zabudowaniami Huty Pokój, a od strony północnej ze składowiskiem odpadów komunalnych. Czwarty zbiornik wodny (Z4) położony jest na terenie Świętochłowic (rys. 2).





Rys. 2. Lokalizacja miejsca pobierania próbek (Z1, Z2, Z3)

Teren, na którym usytuowane są zbiorniki, znajduje się na obszarze źródłowym rzeki Rawy. Powstałe zapadliska i zagłębienia terenu były pierwotnie wykorzystywane jako osadniki mulowe, w których deponowano odpady pokopalniane i pohutnicze. Powierzchnia trzech zbiorników położonych na granicy Rudy Śląskiej i Świętochłowic wynosi odpowiednio 2,7 ha, 1,7 ha i 10 ha. Na jakość wód w zbiornikach mają wpływ parametry fizykochemiczne odcieków z okolicznych hałd oraz jakość zasilających je wód naturalnych. Między zbiornikami następuje wymiana wody. Zbiornik usytuowany w granicach administracyjnych miasta Świętochłowice (Z4) ma powierzchnię 1,6 ha i zasilany jest przez rów odwadniający teren przemysłowy.

2.2. Parametry fizykochemiczne próbek wody

Analiza fizykochemiczna próbek wody została wykonana metodą *in situ* w trakcie pobierania próbek przy użyciu szybkich testów kuwetowych typu Spectroquant®. Zakres analizy obejmował oznaczenie następujących parametrów: odczyn, temperatura otoczenia, temperatura wody, TDS (ang. *total dissolved solids*), stężenie azotu amonowego, stężenie azotynów, stężenie azotanów, stężenie fosforanów oraz zasolenie próbki przez pomiar stężenia jonów chlorkowych i siarczanych. Zakresy pomiarowe testów kuwetowych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zakresy pomiarowe testów kuwetowych (Spectroquant®)

Nazwa testu	Nr testu według producenta	Zakres pomiarowy
Nitrite Cell test (NO_2^-)	1.00609.0001	3,3–295,2 mg/L NO_2^-
Nitrate Cell test (NO_3^-)	1.14556.0001	0,4–13,3 mg/L NO_3^-
Ammonium Cell test (NH_4^+)	1.14558.0001	0,26–10,3 mg/L NH_4^+
Phosphate CVell test (PO_4^{3-})	1.00474.0001	0,2–15,3 mg/L PO_4^{3-}
Chloride Cell test (Cl^-)	1.14730.0001	5–125 mg/L Cl^-
Sulfate Cell test (SO_4^{2-})	1.14548.0001	5–250 mg/L SO_4^{2-}

2.3. Zakres analizy ekotoksykologicznej

2.3.1. Test toksyczności ostrej z wykorzystaniem bakterii bioluminescencyjnych *Vibrio fischeri*

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem systemu Microtox®, opartego na ocenie stopnia inhibicji bioluminescencji u bakterii z gatunku *Vibrio fischeri*. Pomiaru bioluminescencji dokonano zgodnie z procedurą po 5 i 15 min ekspozycji. Uzyskany dla nierozcieńczonej próbki wynik badania wyrażono w formie efektu procentowego PE [%].

2.3.2. Test z wykorzystaniem makrofitów *Lemna minor* L.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem rzęsy wodnej (*Lemna minor* L.), zgodnie z wytycznymi OECD nr 221. Oznaczenie polega na ocenie wpływu badanego medium na wzrost i rozwój *Lemna minor* L. Zgodnie z przyjętą metodyką, w drugiej, trzeciej i siódmej dobie ekspozycji, w każdym powtórzeniu zliczano ilość listków rzęsy oraz określano zabarwienie listków celem identyfikacji postępującego zjawiska chlorozy i/lub nekrozy. W siódmej dobie testu dokonano pomiaru suchej masy roślin testowych. Uzyskany dla nierozcieńczonej próbki wynik badania wyrażono w formie efektu procentowego PE [%].

2.3.3. Test z wykorzystaniem rośliny *Sinapis alba* L.

Ocenę wpływu badanej próbki wody na efektywność kiełkowania i wczesne stadium wzrostu roślin wyższych z gatunku *Sinapis alba* L. przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO (2013). Zgodnie z procedurą testu płytkowego w pierwszej, piątej oraz siódmej dobie testu oceniono stopień kiełkowania. Po zakończonej ekspozycji (siódma doba testu) dla każdej z próbek dokonano pomiaru długości korzeni i łodyg roślin testowych. Analogicznie jak w przypadku testów opisanych w punktach 1.3.1 i 1.3.2, uzyskany dla nierozcieńczonej próbki wynik badania, wyrażono w formie efektu procentowego PE [%].



2.4. Ocena toksyczności próbek wód naturalnych według systemu klasyfikacji

Persoone'a

Ocenę toksyczności próbek wody przeprowadzono w oparciu o system klasyfikacji toksyczności według Persoone'a i in. (2003), stosowany m.in. w ocenie ryzyka środowiskowego stwarzanego przez nierozcieńczone próbki środowiskowe (tj. wody stojące i płynące).

System klasyfikacji oparty jest na dwóch wartościach: osiągniętym efekcie procentowym (PE) stanowiącym wynik testu ekotoksykologicznego oraz istotności wyniku dla każdej klasy zagrożenia. W tabeli 2 zestawiono efekt procentowy i punkty odpowiadające poszczególnym klasom oraz odpowiadający im poziom toksyczności.

Tabela 2. System klasyfikacji toksyczności dla wód naturalnych (Persoone i in., 2003)

Efekt procentowy PE	Wartość punktowa w klasie	Klasa zagrożenia	Poziom zagrożenia	Symbol
< 20%	0	I	brak	
$20 \leq PE < 50\%$	1	II	niewielkie	
$50 \leq PE < 100\%$	2	III	ostre	
PE = 100% przynajmniej w jednym teście	3	IV	wysokie ostre	
PE = 100% we wszystkich testach		V	bardzo wysokie ostre	

3. WYNIKI ANALIZ

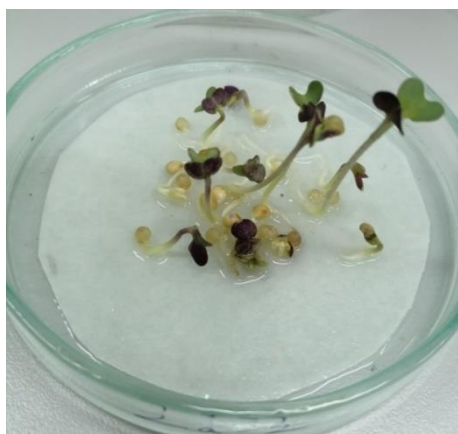
Temperatura wody w zbiornikach w trakcie pobierania próbek w kampanii letniej i zimowej mieściła się w przedziałach odpowiednio 16,5–17,5 °C i 6,2–7,3°C. Temperatura powietrza była średnio o 1–2°C wyższa od temperatury wody. Odczyn wód przyjmował wartości z zakresu 8,143–8,88, co czyni te wody umiarkowanie zasadowymi, przy czym wody pobrane w sezonie letnim charakteryzowały się znacznie wyższym pH. Najniższe wartości przewodności TDS odnotowano dla wód ze zbiornika Z4. Wartość TDS w okresie letnim osiągnęła 1894 $\mu\text{S}/\text{cm}^3$, zimą natomiast wynosiła 1782 $\mu\text{S}/\text{cm}^3$. Szczegółowe wyniki analizy fizykochemicznej wód przedstawiono w tabeli 3.



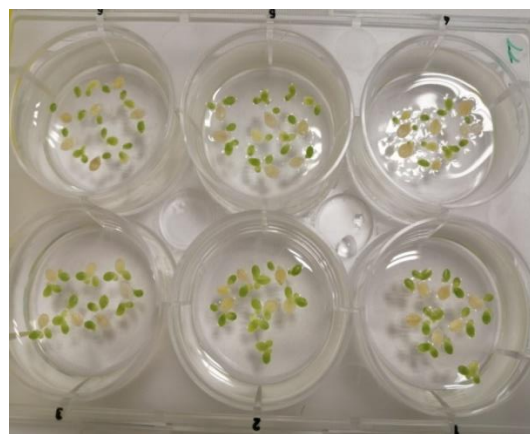
Tabela 3. Wyniki analizy fizykochemicznej próbek wody

Zbiornik wodny		Temperatura wody	Temperatura otoczenia	pH	Przewodność TDS
		°C	°C	–	μS/cm ³
Kampania letnia	Z1	17	19,7	8,837	2220
	Z2	17,7	17,9	8,88	2240
	Z3	17,5	17,6	8,428	2270
	Z4	16,5	17,4	8,241	1894
Kampania zimowa	Z1	6,24	7,2	8,241	2080
	Z2	6,3	8,4	8,62	2140
	Z3	6,5	8,4	8,248	2270
	Z4	7,3	11,4	8,143	1782

Stężenie jonów chlorkowych w analizowanych wodach w okresach letnim i zimowym mieściło się w przedziale odpowiednio od 46 mg/dm³ Cl⁻ (Z4) do 56 mg/dm³ Cl⁻ (Z3) oraz od 47 mg/dm³ Cl⁻ (Z4) do 58 mg/dm³ Cl⁻ (Z3). Jony siarczanowe w sezonie letnim utrzymywały stężenie z zakresu od 350 mg/dm³ Cl⁻ (Z3) do 498 mg/dm³ Cl⁻ (Z4), natomiast w sezonie zimowym parametr ten mieścił się w przedziale od 250 mg/dm³ SO₄²⁻ (Z1) do 450 mg/dm³ SO₄²⁻ (Z4). Zgodnie z przyjętą metodyką ocenę toksyczności analizowanych próbek wody wykonano zgodnie z systemem klasyfikacji toksyczności Persoone'a i in. (2003). Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 4. Na podstawie uzyskanych rezultatów badań wody ze zbiorników Z1, Z2 i Z3 przyporządkowano je do IV klasy toksyczności – wysoka ostra toksyczność. Należy przy tym zaznaczyć, że wody w tych zbiornikach pobrane zimą miały wyższą wartość wagi toksyczności w klasie w porównaniu z wodami pobranymi latem. Wody ze zbiornika Z4 zostały zaliczone do III klasy toksyczności – ostra toksyczność. Dla próbek wód pobranych zimą wartość wagi toksyczności w klasie była wyższa niż dla wód pobranych latem. Klasy toksyczności i uzyskane wagi toksyczności w klasie wskazują na wysoką toksyczność wód, co stanowi poważne zagrożenie dla bytujących w nich organizmów (tab. 4). Na fotografiach pokazano przebieg testów z wykorzystaniem roślin testowych *Sinapis alba* L. (fot. 1) i *Lemna minor* L. (fot. 2).



Fot. 1. Przebieg testu oceny wschodu i wczesnego wzrostu nasion gorczycy (*Sinapis alba* L.)



Fot. 2. Przebieg testu z wykorzystaniem rzęsy wodnej (*Lemna minor* L.)

Tabela 4. Toksyczność wód z badanych zbiorników wodnych określona zgodnie z systemem klasyfikacji toksyczności dla wód naturalnych według Persoone'a i in. (2003)

Zbiornik wodny		Klasa zagrożenia w oparciu o wynik cząstkowy testu PE [%]						Klasa zagrożenia	Klasa toksyczności*
		<i>Lemna minor</i> L.	<i>Sinapis alba</i> L.			<i>Vibrio fischeri</i>			%
		liście	korzeń	lodyga	cała roślina	5 min	15 min		
Kampania letnia	1a	III	I	I	I	IV	IV	IV	44,44
	2a	III	I	I	I	IV	IV	IV	44,44
	3a	III	I	I	I	IV	IV	IV	44,44
	4a	III	I	I	I	III	III	III	50
Kampania zimowa	1a	II	II	III	II	IV	IV	IV	61,11
	2a	II	I	II	II	IV	IV	IV	55,56
	3a	II	I	III	II	IV	IV	IV	66,67
	4a	II	I	III	III	II	III	III	66,67

*Wagę (istotność) wyniku dla każdej klasy zagrożenia oblicza się w celu pokazania wartości liczbowej toksyczności dla danej klasy.

4. WNIOSKI

Rozwój przemysłu ciężkiego na terenie województwa śląskiego, któremu towarzyszyła eksploatacja podziemna złóż węgla kamiennego, doprowadził do licznych przekształceń środowiska naturalnego w regionie. Skutkiem eksploatacji złóż węgla są np. niecki osiadania i zapadliska. Część z nich często była wykorzystywana jako osadniki odpadów pogórnich i/lub pohutniczych, zdecydowana większość jednak to nieużytki. Ocena możliwości wykorzystania zbiorników wodnych powstałych na terenach pogórnich w obszarze usług ekosystemowych wymagała przeprowadzenia analizy fizykochemicznej i ekotoksykologicznej. Badania fizykochemiczne wykazały znaczne zasolenie wód w analizowanych zbiornikach. Potwierdziły to zarówno wysokie wartości stężenia jonów chlorkowych i siarczanowych, jak i wysoka wartość wskaźnika TDS, które zostały kilkakrotnie przekroczone w stosunku do wartości podanej w normie. Wysokie poziomy TDS dowodzą znacznego zanieczyszczenia wód. Wyniki testów ekotoksykologicznych wykazały wysoką inhibicję bioluminescencji bakterii *Vibrio fischeri* oraz zahamowanie wzrostu makrofitu *Lemna minor* L. W przypadku nasion *Sinapis alba* L. zahamowanie wzrostu było obserwowane głównie dla próbek wody pobranych w okresie zimowym. W okresie letnim obserwowano stymulację i intensywny wzrost rośliny spowodowany najprawdopodobniej większą dostępnością składników odżywczych w postaci związków biogennych (wysokie stężenia form azotu w próbkach wody w trakcie kampanii letniej). Niemniej jednak, niezależnie od terminu pobierania próbek ze wszystkich analizowanych zbiorników, wysoką toksyczność, a tym samym wysoką klasę zagrożenia uzyskano na podstawie wyników testu MICROTOX®, opartego na wykorzystaniu bakterii bioluminescencyjnych *Vibrio fischeri*. Na podstawie wyników analiz wody ze zbiorników



Z1, Z2 i Z3 przyporządkowano je do IV klasy toksyczności, a wody ze zbiornika Z4 do III klasy toksyczności. Tym samym, w oparciu o wyniki testu MICROTOX, wody te wykazują wysoką toksyczność względem organizmów testowych. Biorąc pod uwagę klasy zagrożenia analizowanych zbiorników względem wodnych organizmów testowych, można stwierdzić, że obecnie nie mogą być one wykorzystane w celach usługowych, zaopatrzeniowych, kulturowych i wspomagających. Mogą natomiast być wykorzystane do celów regulacyjnych. Warto nadmienić, że podjęcie działań rekultywacyjnych czy remediacyjnych, mogłoby przyczynić się do poprawy ich stanu. Wówczas zakres usług ekosystemowych dla ludności zamieszkującej sąsiadujące z nimi okolice rozszerzyłby się znacznie.

LITERATURA

Głowacki T., Milczarek W. (2013): Powierzchniowe deformacje wtórne dawnych terenów górniczych. *Mining Science*, Vol. 20, 39-55.

Kaszowska O. (2007): Wpływ podziemnej eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu. *Problemy Ekologii*, R. 11(1), 52-57.

Machowski R. (2003): Zbiorniki w nieckach osiadania i zapadliskach w krajobrazie Wyżyny Śląskiej. W: U. Myga-Piątek (Red.), *Woda w przestrzeni przyrodniczej i kulturowej. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego* (T. 2, s. 113-123). Sosnowiec, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Oddział Katowicki PTG.

Machowski R. (2010): Przemiany geosystemów zbiorników wodnych powstałych w nieckach osiadania na Wyżynie Katowickiej. Katowice, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.

OECD (2006): OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. Lemna sp. Growth Inhibition Test, nr 221.

Persoon G., Marsálek B., Blinova I., Törökne A., Zarina D., Manusadzianas L., Nalecz-Jawecki G., Tofan L., Stepanova N., Tóthová L., Kolar B. (2003): Practical and User-Friendly Toxicity Classification System with Microbiotests for Natural Waters and Wastewaters. *Environmental Toxicology*, 18(6), 395-402.

PN-EN ISO (2013): PN-EN ISO 11269-1:2013-06 Jakość gleby – Oznaczanie wpływu zanieczyszczeń na florę glebową – Część 1: Metoda pomiaru hamowania wzrostu korzeni.

Rzętala M. (2000): Wybrane problemy eksploatacji i ochrony zbiorników wodnych na obszarze województwa śląskiego. W: A. T. Jankowski, U. Myga-Piątek, S. Ostaficzuk (Red.), *Środowisko przyrodnicze regionu górnośląskiego – stan poznania, zagrożenia i ochrona* (s. 117-131). Sosnowiec, Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Oddział Katowicki PTG.

Solon J. (2008): Koncepcja „Ecosystem Services” i jej zastosowania w badaniach ekologiczno-krajobrazowych. *Problemy Ekologii Krajobrazu*, nr 21, 25-44.

Sudra P. (2015): Usługi ekosystemowe na tle wybranych koncepcji ekologii miasta. *Człowiek i Środowisko*, nr 39(1), 61-73.





Dane adresowe

Główny Instytut Górnictwa
Obserwatorium Technologie dla Ochrony Środowiska
Plac Gwarków 1
40-166 Katowice

www.gig.eu

